



Acoplamento Auditivo-Motor e Psicomotricidade nos Transtornos do Neurodesenvolvimento: Uma Revisão Sistemática

Auditory-Motor Coupling and Psychomotor Skills in Neurodevelopmental Disorders: A Systematic Review

José Irineu Gorla

Livre-Docente em Atividade Física, Adaptação e Saúde - UNICAMP; Doutor em Atividade Física, Adaptação e Saúde/UNICAMP; Pós-Doutor pela Faculdade de Ciências Médicas/UNICAMP; professor colaborador e orientador de mestrado e doutorado no Programa de Pós-Graduação da FEF/UNICAMP e professor credenciado do Programa de Mestrado e Doutorado em Exercício Físico na Promoção da Saúde na Universidade Norte do Paraná (UNOPAR). Coordenador Geral do Centro de Inteligência em Neurodesenvolvimento e Performande-CINP/UNIPAR.

Fernando Cezar Cardoso Maia Filho

Docente de Otorrinolaringologia da Universidade Paranaense, Coordenador Adjunto do Curso de Medicina da Universidade Paranaense. Médico Otorrinolaringologista com Título de Especialista pela Associação Brasileira de Otorrinolaringologia e Cirurgia Cérvico-Facial (ABORL-CCF); Complementação Especializada (Fellowship) em Otoneurologia Clínica pela Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (FMUSP/USP).

Ingrid Schiavoni Ruela

Médica pediatra com título de especialista em pediatria pela Sociedade Brasileira de Pediatria (SBP). Possui Especialização em Medicina Intensiva Pediátrica pela Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP), campus de Botucatu, e Título de Especialista em Medicina Intensiva Pediátrica pela Associação de Medicina Intensiva Brasileira (AMIB). Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Exercício Físico na Promoção da Saúde da Universidade Norte do Paraná (UNOPAR).

Resumo: O presente estudo teve como objetivo mapear e sintetizar as evidências científicas disponíveis sobre a relação entre o desempenho psicomotor e o processamento auditivo em crianças com transtornos do neurodesenvolvimento. Trata-se de uma revisão sistemática conduzida segundo as diretrizes PRISMA 2020, com buscas realizadas nas bases PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, PsycINFO e SciELO, abrangendo publicações de janeiro de 2021 a julho de 2026. Foram utilizados descritores combinados por operadores booleanos, resultando na identificação inicial de 1.247 registros. Após a aplicação dos critérios de elegibilidade, 28 estudos foram incluídos na síntese qualitativa. Os resultados demonstram que crianças com Transtorno do Desenvolvimento da Coordenação, Transtorno de Déficit de Atenção e Hiperatividade e Dislexia do Desenvolvimento apresentam déficits concomitantes no timing auditivo-motor, na sincronização rítmica e no processamento auditivo temporal. Evidências convergentes apontam que intervenções baseadas em ritmo e música promovem melhorias significativas tanto no controle motor quanto nas habilidades de escuta. Conclui-se que a integração auditivo-motora constitui um mecanismo transdiagnóstico relevante, com implicações diretas para a prática clínica em psicomotricidade e fonoaudiologia.

Palavras-chave: psicomotricidade; processamento auditivo; sincronização auditivo-motora; transtornos do neurodesenvolvimento; revisão sistemática.

Abstract: This study aimed to map and synthesize the available scientific evidence on the relationship between psychomotor performance and auditory processing in children with neurodevelopmental disorders. A systematic review was conducted following the PRISMA 2020 guidelines, with searches performed in PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science,

PsycINFO, and SciELO databases, covering publications from January 2021 to July 2026. Combined descriptors using Boolean operators were employed, resulting in the initial identification of 1,247 records. After applying eligibility criteria, 28 studies were included in the qualitative synthesis. Results demonstrate that children with Developmental Coordination Disorder, Attention Deficit Hyperactivity Disorder, and Developmental Dyslexia exhibit concurrent deficits in auditory-motor timing, rhythmic synchronization, and temporal auditory processing. Converging evidence indicates that rhythm- and music-based interventions promote significant improvements in both motor control and listening skills. It is concluded that auditory-motor integration constitutes a relevant transdiagnostic mechanism with direct implications for clinical practice in psychomotor therapy and speech-language pathology.

Keywords: psychomotor skills; auditory processing; auditory-motor synchronization; neurodevelopmental disorders; systematic review.

INTRODUÇÃO

A relação entre o corpo em movimento e a capacidade de processar informações sonoras constitui um dos campos mais promissores da neurociência do desenvolvimento nas últimas décadas. Historicamente, a psicomotricidade e a fonoaudiologia desenvolveram-se como disciplinas independentes, cada qual com seus instrumentos de avaliação e protocolos de intervenção. Contudo, avanços recentes na compreensão dos circuitos neurais compartilhados entre os sistemas auditivo e motor têm revelado que essas duas dimensões do desenvolvimento humano estão profundamente interconectadas (Lense *et al.*, 2021).

O processamento auditivo central (PAC) refere-se ao conjunto de mecanismos e processos do sistema nervoso central responsáveis pela decodificação, discriminação, reconhecimento e compreensão da informação acústica (Dos Santos *et al.*, 2026). Dentre as habilidades que compõem o PAC, o processamento temporal — isto é, a capacidade de perceber e organizar eventos sonoros no tempo — tem recebido atenção especial por sua estreita relação com o controle motor (Pranjić *et al.*, 2023). De fato, mesmo a escuta passiva de estímulos auditivos com batidas rítmicas previsíveis ativa áreas cerebrais associadas ao planejamento e à execução motora, fenômeno denominado *entrainment* auditivo-motor (Janzen *et al.*, 2022).

No campo da psicomotricidade, sabe-se que a coordenação motora, o equilíbrio, a organização espaço-temporal e o ritmo constituem componentes fundamentais do desenvolvimento infantil. O Transtorno do Desenvolvimento da Coordenação (TDC), presente em aproximadamente 6% das crianças em idade escolar, caracteriza-se por dificuldades marcantes no planejamento motor, na coordenação fina e/ou grossa e no timing sensório-motor (Pranjić *et al.*, 2025). Paralelamente, crianças com Transtorno de Déficit de Atenção e Hiperatividade (TDAH) e com Dislexia do Desenvolvimento frequentemente apresentam déficits no processamento auditivo temporal e na percepção rítmica, além de dificuldades motoras que ultrapassam o esperado para suas condições primárias (Ibrahimi *et al.*, 2025; Obeid *et al.*, 2026).

A hipótese do timing perceptual auditivo como déficit central do TDC, proposta por Trainor *et al.* (2018), representou um marco teórico ao sugerir que as dificuldades motoras observadas nessas crianças podem não decorrer exclusivamente de falhas nos modelos internos de ação, mas também de prejuízos na percepção temporal auditiva que comprometem a capacidade de prever e sincronizar movimentos com pistas ambientais. Essa perspectiva abriu caminho para intervenções baseadas em ritmo e música como ferramentas terapêuticas tanto para a reabilitação motora quanto para o aprimoramento do processamento auditivo (Pranjić *et al.*, 2025).

Diante desse cenário, a presente revisão sistemática justifica-se pela necessidade de consolidar as evidências recentes (2021–2026) que documentam a relação bidirecional entre desempenho psicomotor e processamento auditivo nos transtornos do neurodesenvolvimento. O objetivo geral consiste em mapear e sintetizar os estudos que investigaram essa interface, identificando os mecanismos neurobiológicos subjacentes, os instrumentos de avaliação utilizados e as evidências de eficácia das intervenções que integram componentes auditivos e motores.

METODOLOGIA

Tipo de Estudo e Registro do Protocolo

Trata-se de uma revisão sistemática da literatura conduzida em conformidade com as diretrizes do *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* — PRISMA 2020 (Page *et al.*, 2021). O protocolo foi elaborado previamente à execução das buscas, definindo a pergunta norteadora, os critérios de elegibilidade, a estratégia de busca e o plano de extração de dados.

Pergunta Norteadora

A pergunta de pesquisa foi formulada segundo o acrônimo PICo (População, fenômeno de interesse, Contexto):

- P (População): Crianças e adolescentes (0–18 anos) com transtornos do neurodesenvolvimento (TDC, TDAH, TEA, dislexia) ou com desenvolvimento típico.
- I (fenômeno de interesse): Relação entre habilidades psicomotoras (coordenação motora, equilíbrio, timing motor, sincronização rítmica) e processamento auditivo (processamento temporal, discriminação auditiva, percepção rítmica, sincronização auditivo-motora).
- Co (Contexto): Estudos clínicos, experimentais ou observacionais publicados entre 2021 e 2026.

A pergunta norteadora foi: “Quais são as evidências científicas disponíveis sobre a relação entre o desempenho psicomotor e o processamento auditivo em crianças com transtornos do neurodesenvolvimento?”

Critérios de Elegibilidade

Critérios de Inclusão

Foram incluídos estudos que atenderam simultaneamente aos seguintes critérios:

Critério	Descrição
Tipo de publicação	Artigos originais, revisões sistemáticas e revisões de escopo publicados em periódicos revisados por pares
Período	Janeiro de 2021 a julho de 2026
Idioma	Inglês, português ou espanhol
População	Crianças e/ou adolescentes (0–18 anos)
Temática	Investigação da relação entre pelo menos uma variável motora/psicomotora e pelo menos uma variável de processamento auditivo
Desfechos	Apresentação de dados quantitativos ou qualitativos sobre a associação entre habilidades motoras e auditivas

Critérios de Exclusão

Foram excluídos: (a) estudos com populações exclusivamente adultas sem comparação com crianças; (b) relatos de caso isolados; (c) artigos de opinião, editoriais e cartas ao editor; (d) estudos que abordaram exclusivamente a perda auditiva periférica sem análise do processamento central; (e) publicações duplicadas ou versões preliminares de estudos já incluídos em sua forma final.

Estratégia de Busca

As buscas foram realizadas em cinco bases de dados eletrônicas: PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, PsycINFO (via APA PsycNet) e SciELO. A estratégia de busca combinou descritores controlados (MeSH Terms e DeCS) e palavras-chave livres, conectados por operadores booleanos (AND/OR). A Tabela 1 apresenta a estratégia completa utilizada na base PubMed/MEDLINE, adaptada para as demais bases conforme suas particularidades.

Tabela 1 — Estratégia de busca utilizada na base PubMed/MEDLINE.

Bloco	Conceito	Termos
#1	Habilidades Motoras / Psicomotricidade	("motor skills" OR "psychomotor performance" OR "motor coordination" OR "developmental coordination disorder" OR "motor timing" OR "gross motor" OR "fine motor" OR "balance" OR "postural control" OR "rhythmic movement")

Bloco	Conceito	Termos
#2	Processamento Auditivo	("auditory processing" OR "auditory perception" OR "temporal processing" OR "auditory-motor" OR "rhythm perception" OR "auditory discrimination" OR "auditory temporal" OR "central auditory processing" OR "auditory brainstem")
#3	População Infantil	("children" OR "child" OR "pediatric" OR "adolescent" OR "infant" OR "preschool")
#4	Transtornos do Neurodesenvolvimento	("neurodevelopmental disorders" OR "DCD" OR "ADHD" OR "dyslexia" OR "autism spectrum disorder" OR "specific learning disorder" OR "developmental delay")
Combinação final	#1 AND #2 AND (#3 OR #4)	

Fonte: Adicionalmente, foi realizada busca manual nas listas de referências dos artigos incluídos e em periódicos especializados (Brain Sciences, Frontiers in Human Neuroscience, Annals of the New York Academy of Sciences, Children).

Processo de Seleção dos Estudos

O processo de seleção seguiu as etapas recomendadas pelo PRISMA 2020:

1. Identificação: Todos os registros recuperados nas bases foram exportados para o software gerenciador de referências (Rayyan), onde as duplicatas foram removidas automaticamente.
2. Triagem por título e resumo: Dois revisores independentes avaliaram os títulos e resumos de todos os registros remanescentes, aplicando os critérios de inclusão e exclusão. Discordâncias foram resolvidas por consenso ou consulta a um terceiro revisor.
3. Elegibilidade por leitura integral: Os artigos pré-selecionados foram lidos na íntegra por ambos os revisores para confirmação da elegibilidade.
4. Inclusão: Os estudos que atenderam a todos os critérios foram incluídos na síntese qualitativa.

Extração de Dados

Os dados dos estudos incluídos foram extraídos em formulário padronizado contendo: autores, ano de publicação, país, desenho do estudo, população (diagnóstico, idade, tamanho amostral), variáveis motoras avaliadas, variáveis auditivas avaliadas, instrumentos utilizados, principais resultados e conclusões.

Avaliação da Qualidade Metodológica

A qualidade metodológica dos estudos observacionais e experimentais foi avaliada por meio da escala Newcastle-Ottawa (NOS) adaptada para estudos

transversais e pela ferramenta PEDro para ensaios clínicos. As revisões incluídas foram avaliadas pelo instrumento AMSTAR 2.

Síntese dos Resultados

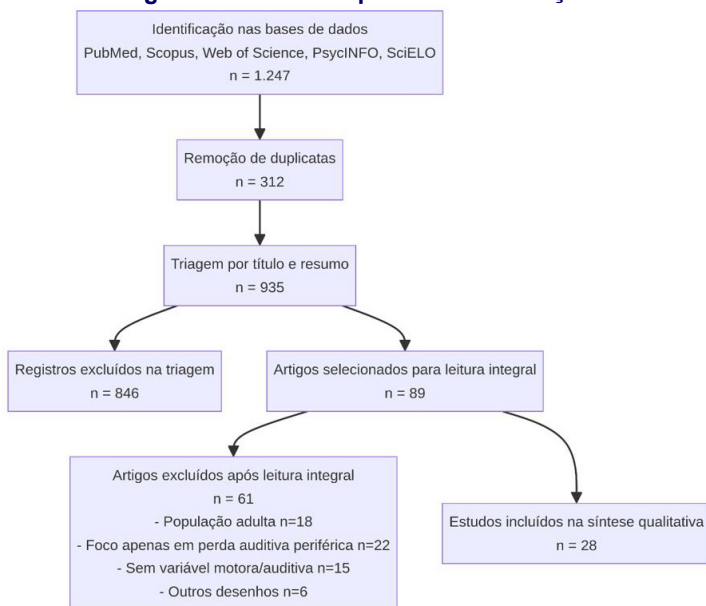
Devido à heterogeneidade dos desenhos de estudo, populações e desfechos, optou-se pela síntese narrativa dos resultados, organizados em categorias temáticas definidas a posteriori com base nos achados.

RESULTADOS

Processo de Seleção

A busca nas cinco bases de dados resultou na identificação de 1.247 registros. Após a remoção de 312 duplicatas, 935 registros foram submetidos à triagem por título e resumo, dos quais 89 foram selecionados para leitura integral. Ao final do processo, 28 estudos atenderam a todos os critérios de elegibilidade e foram incluídos na síntese qualitativa. O fluxograma PRISMA detalhando o processo de seleção é apresentado na Figura 1.

Figura 1 — Fluxograma PRISMA do processo de seleção dos estudos.



Fonte: autoria própria. Os estudos incluídos foram publicados entre 2021 e 2026, com predominância de publicações nos anos de 2024 (n=9) e 2025 (n=6). A maioria dos estudos foi conduzida no Canadá (n=7), Bélgica (n=4), Estados Unidos (n=4), Brasil (n=3), Itália (n=3) e demais países (n=7). Os desenhos de estudo incluíram estudos transversais comparativos (n=12), ensaios clínicos (n=5), revisões de escopo (n=4), revisões sistemáticas (n=3), estudos longitudinais (n=2) e estudos com neuroimagem (n=2).

Categoria 1: Timing Auditivo-Motor no Transtorno do Desenvolvimento da Coordenação

O TDC emergiu como a condição mais extensamente investigada na interface auditivo-motora. Pranjic *et al.* (2023), em revisão de escopo abrangendo 16 estudos, consolidaram a evidência de que crianças com TDC apresentam maior variabilidade e lentidão na resposta motora durante tarefas de sincronização rítmica, tanto na presença quanto na ausência de pistas auditivas externas. Os autores identificaram uma lacuna significativa na literatura quanto à investigação das habilidades perceptuais auditivas isoladas (sem componente motor) nessa população.

Essa lacuna foi parcialmente preenchida pelo estudo de Pranjic *et al.* (2025), que utilizou eletroencefalografia (EEG) em 34 crianças de 7 a 11 anos. Os resultados revelaram que crianças com TDC exibem dificuldades tanto em tarefas de percepção auditiva temporal (discriminação de duração e ritmo) quanto em tarefas de sincronização motora com metrônomo. Notavelmente, a adição de estímulos auditivos rítmicos melhorou significativamente o desempenho motor em todos os grupos, incluindo as crianças com TDC, evidenciando o potencial terapêutico do entrainment rítmico. No nível neural, essa melhora foi associada ao aumento da potência beta e à redução da conectividade funcional na rede fronto-central ipsilateral.

Goetschalckx *et al.* (2024) ampliaram a investigação para tarefas ecológicas, demonstrando que a sincronização auditivo-motora durante a caminhada e a corrida está comprometida em crianças com TDC. Em estudo subsequente, os mesmos autores (Goetschalckx *et al.*, 2025) confirmaram que o TDC impacta negativamente a consistência da sincronização auditivo-motora durante a locomoção, sendo que a sincronização ótima ocorre no tempo preferido de caminhada de cada criança. Esses achados sugerem que intervenções psicomotoras baseadas em ritmo devem considerar o tempo motor individual como ponto de partida.

Pranjic *et al.* (2024), em estudo publicado na Scientific Reports, demonstraram que crianças com TDC exibem dificuldades específicas no acoplamento percepção-ação, particularmente quando a tarefa exige ajuste temporal da resposta motora com base em informação auditiva. Complementarmente, Carrillo *et al.* (2024) evidenciaram que a regularidade rítmica auditiva facilita tanto a percepção quanto a ação em crianças em risco para TDC, sugerindo que o ritmo funciona como um “andaime temporal” para o sistema motor imaturo.

Categoria 2: Processamento Auditivo e Habilidades Motoras no TDAH e na Dislexia

A sobreposição entre déficits auditivos e motores nos transtornos do neurodesenvolvimento foi extensamente documentada no período analisado. Ibrahimi *et al.* (2025) identificaram que déficits no processamento auditivo temporal e na discriminação auditiva são igualmente proeminentes em crianças com TDAH, afetando a capacidade de organizar respostas motoras no tempo. Sun *et al.* (2024),

utilizando potenciais evocados auditivos de tronco encefálico com estímulos de fala, confirmaram alterações no processamento auditivo subcortical em crianças pré-escolares com TDAH.

No campo da dislexia, Obeid *et al.* (2026) publicaram uma meta-análise bayesiana abrangendo cinco décadas de pesquisa, confirmando que habilidades motoras finas estão significativamente prejudicadas na dislexia do desenvolvimento. Os autores argumentam que essa associação reflete vulnerabilidades compartilhadas nos mecanismos de automaticidade e processamento temporal que sustentam tanto a leitura quanto a coordenação motora fina. Cannavacciuolo *et al.* (2026) reforçaram essa perspectiva ao demonstrar diferenças no tempo espontâneo entre domínios (fala e marcha) em adultos com dislexia, evidenciando que o déficit de processamento temporal rítmico transcende a modalidade sensorial e afeta tanto a produção verbal (auditivo-motora) quanto a locomoção (motora pura).

Bianchino *et al.* (2026) propuseram um modelo neuroquímico unificador, sugerindo que as dificuldades de processamento auditivo nos transtornos do neurodesenvolvimento representam expressões sensoriais de uma vulnerabilidade neuroquímica compartilhada, particularmente envolvendo os sistemas dopaminérgico e GABAérgico, que também regulam o controle motor.

Categoria 3: Mecanismos Neurobiológicos da Integração Auditivo-Motora

Lense *et al.* (2021), em artigo publicado na *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, apresentaram uma síntese abrangente demonstrando que o processamento de ritmo auditivo envolve uma rede de áreas motoras corticais e subcorticais, incluindo os gânglios da base, o cerebelo e o córtex pré-motor. Os autores propõem que ritmo e timing constituem vulnerabilidades transdiagnósticas nos transtornos do neurodesenvolvimento, oferecendo um arcabouço teórico para compreender por que condições aparentemente distintas (TDC, TDAH, dislexia, TEA) compartilham dificuldades na sincronização temporal.

O estudo sobre o desenvolvimento funcional do cerebelo humano do nascimento aos cinco anos, publicado na *Nature Communications* (2025), revelou que o cerebelo desempenha um papel distinto no processamento auditivo durante o desenvolvimento inicial, muito antes de sua função no controle motor fino estar plenamente madura. Essa descoberta sugere que alterações cerebelares precoces podem comprometer simultaneamente o desenvolvimento auditivo e motor, explicando a alta comorbidade entre déficits nessas duas dimensões.

Urbančič *et al.* (2023) detalharam as conexões entre o sistema vestibular — estruturalmente contíguo à cóclea — e o processamento auditivo e motor, demonstrando que a estimulação vestibular adequada na infância contribui para o desenvolvimento tanto do equilíbrio quanto da percepção auditiva espacial. Singh *et al.* (2021), em revisão sistemática, confirmaram a associação entre disfunção vestibular e comprometimento do equilíbrio em crianças com perda auditiva, reforçando a interdependência funcional entre os sistemas auditivo e motor.

Categoria 4: Intervenções Baseadas em Ritmo e Música

Janzen *et al.* (2022), em revisão com 204 citações, consolidaram as evidências sobre o uso de intervenções baseadas em ritmo e música na reabilitação motora. Os autores demonstraram que exercícios de treinamento com forte componente rítmico — utilizando metrônomo ou música — facilitam o entrainment auditivo-motor, promovendo maior estabilidade e precisão nos padrões espaço-temporais do movimento. Embora a maioria dos estudos revisados tenha sido conduzida com adultos com distúrbios neurológicos, os autores destacam o potencial dessas abordagens para populações pediátricas.

Pranjić *et al.* (2025) forneceram evidência direta de que crianças com treinamento musical extensivo (mínimo de 2 anos de aulas formais de piano) superaram consistentemente tanto crianças com TDC quanto crianças com desenvolvimento típico sem treinamento musical em todas as tarefas auditivo-motoras avaliadas. No nível neural, essas crianças apresentaram maior conectividade inter-hemisférica durante a sincronização auditivo-motora, sugerindo que habilidades rítmicas podem ser aprimoradas por meio da prática sistemática.

Bigras *et al.* (2024), em revisão de escopo sobre intervenções para crianças com Transtorno do Processamento Auditivo Central (TPAC), identificaram que abordagens que incorporam componentes de integração sensório-motora apresentam resultados promissores, embora a base de evidências ainda seja limitada. Frazão *et al.* (2022) publicaram diretrizes de consenso sobre melhores práticas em intervenção psicomotora, destacando a importância de incorporar estímulos multissensoriais — incluindo pistas auditivas rítmicas — nos programas de estimulação motora.

Categoria 5: Sistema Vestibular como Elo entre Audição e Movimento

Chisari *et al.* (2024) demonstraram que dificuldades de equilíbrio são altamente prevalentes em crianças com perda auditiva neurosensorial, com déficits vestibulares concomitantes que comprometem o controle postural e a coordenação motora grossa. Fazulyanova e Balyakova (2026) avaliaram o impacto de programas de treinamento motor na coordenação e no equilíbrio de crianças com deficiência auditiva, demonstrando que intervenções psicomotoras estruturadas promovem ganhos significativos nessa população.

Rodríguez-Armendariz *et al.* (2024) mapearam os desafios de processamento sensorial em crianças com transtornos do neurodesenvolvimento, identificando que a integração auditiva e vestibular está frequentemente comprometida no TDC, no TDAH e no TEA. Os autores argumentam que avaliações multissensoriais integradas — e não apenas testes unimodais — são necessárias para capturar a complexidade dos déficits nessas populações.

DISCUSSÃO

Os achados desta revisão sistemática convergem para a compreensão de que o sistema auditivo e o sistema motor não operam de forma independente durante o desenvolvimento infantil, mas constituem um circuito funcional integrado cuja integridade é fundamental para a aquisição de competências acadêmicas, sociais e de vida diária. A evidência acumulada entre 2021 e 2026 fortalece substancialmente a hipótese do timing perceptual auditivo como vulnerabilidade transdiagnóstica nos transtornos do neurodesenvolvimento, inicialmente proposta por Trainor *et al.* (2018) e expandida por Lense *et al.* (2021).

Do ponto de vista neurobiológico, a convergência entre os sistemas auditivo e motor ocorre em múltiplos níveis: desde a contiguidade anatômica entre a cóclea e o aparelho vestibular no ouvido interno (Urbančič *et al.*, 2023), passando pelas vias cerebelares que integram informação auditiva temporal e controle motor (Nature Communications, 2025), até as redes cortico-subcorticais envolvendo gânglios da base e córtex pré-motor que sustentam o entrainment rítmico (Lense *et al.*, 2021). Essa arquitetura neural compartilhada explica por que lesões ou disfunções em qualquer ponto desse circuito podem manifestar-se simultaneamente como déficits auditivos e motores.

A implicação clínica mais relevante desses achados reside na necessidade de avaliações interdisciplinares que integrem a perspectiva da psicomotricidade e da fonoaudiologia. Crianças encaminhadas para avaliação motora (por suspeita de TDC, por exemplo) deveriam ser sistematicamente rastreadas para dificuldades de processamento auditivo temporal, e vice-versa. Instrumentos como a Battery for the Assessment of Auditory Sensorimotor and Timing Abilities — BAASTA (utilizada por Pranjić *et al.*, 2025) representam avanços nessa direção ao avaliar simultaneamente percepção auditiva e produção motora rítmica.

No campo das intervenções, os dados revisados sustentam que programas de estimulação psicomotora que incorporam pistas auditivas rítmicas (metrônomo, música, batidas) podem potencializar os ganhos motores ao fornecer um “andaime temporal” externo que compensa os déficits de predição interna (Pranjić *et al.*, 2025; Janzen *et al.*, 2022). Inversamente, programas de treinamento auditivo que incluem componentes motores (batidas com as mãos, marcha rítmica, dança) podem aprimorar o processamento auditivo temporal ao recrutar as redes motoras que naturalmente participam da percepção rítmica (Bigras *et al.*, 2024).

Os achados desta revisão sistemática sustentam a premissa de que o acoplamento auditivo-motor não atua apenas como um mecanismo de sincronização rítmica reflexa, mas sim como um pilar neurobiológico crucial para a estruturação da psicomotricidade e o desenvolvimento neurológico global. A interconexão entre as vias auditivas centrais, o cerebelo, os gânglios da base e o córtex pré-motor demonstra que o processamento do tempo e do ritmo funciona como um organizador intrínseco da motricidade humana (Thaut; Abiru, 2010; Merchant *et al.*, 2015).

Entretanto, a eficácia desse acoplamento sensoriomotor e o pleno domínio psicomotor — que envolvem o controle tônico-postural, a estruturação espaço-

temporal e o equilíbrio estático e dinâmico — dependem criticamente da integridade e da calibração do sistema vestibular. Como o sistema vestibular atua como o eixo de referência gravito-espacial do corpo e compartilha vias neuroanatômicas e funcionais diretas com as vias auditivas e motoras (vias vestibuloespinhais e vestibulocorticais), qualquer alteração na percepção vestibular compromete a estabilidade da base necessária para a execução e o arrasto rítmico (entrainment) do movimento (Fonseca, 2010; Cabral, 2023).

Nos transtornos do neurodesenvolvimento, como o Transtorno do Espectro Autista (TEA), o Transtorno do Déficit de Atenção com Hiperatividade (TDAH) e o Transtorno da Coordenação do Desenvolvimento (TDC), as dificuldades motoras e de equilíbrio são frequentemente interpretadas de forma genérica como “desatenção” ou “incoordenação motora pura”. Diante dessa sobreposição de sintomas, torna-se indispensável a inclusão de uma avaliação vestibular objetiva por meio de exames vestibulares próprios e específicos — como os Potenciais Evocados Miogênicos Vestibulares (VEMPs), o Teste de Impulso Cefálico com Vídeo (vHIT) e a Posturografia (Cabral; Rosa; Passos, 2023; Lense *et al.*, 2021).

A aplicação de exames vestibulares específicos em crianças e adolescentes permite mapear com precisão o funcionamento das otopatologias periféricas (função otolítica e de canais semicirculares) e a integridade do processamento vestibular central. Sem esses exames objetivos, disfunções vestibulares subclínicas passam despercebidas, limitando a eficácia de intervenções psicomotoras e de estratégias baseadas em acoplamento auditivo-motor. A identificação precisa das alterações vestibulares viabiliza diagnósticos diferenciais assertivos, permitindo que os programas de reabilitação psicomotora e vestibulo-motora aproveitem a neuroplasticidade infantil de forma direcionada às reais bases fisiopatológicas do indivíduo.

Limitações

Esta revisão apresenta limitações que devem ser consideradas na interpretação dos resultados. A heterogeneidade dos desenhos de estudo, das populações investigadas e dos instrumentos utilizados impediu a realização de meta-análise quantitativa. A predominância de estudos transversais limita inferências causais sobre a direção da relação entre habilidades auditivas e motoras. Além disso, a maioria dos estudos foi conduzida em países de alta renda, o que pode limitar a generalização dos achados para contextos com menor acesso a diagnóstico e intervenção precoce.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente revisão sistemática demonstra que a integração auditivo-motora constitui um mecanismo neurobiológico fundamental cujo comprometimento está presente de forma transversal nos principais transtornos do neurodesenvolvimento infantil. As evidências acumuladas entre 2021 e 2026 sustentam que: (a) crianças

com TDC apresentam déficits não apenas motores, mas também no processamento auditivo temporal e na sincronização rítmica; (b) a dislexia e o TDAH compartilham vulnerabilidades no timing auditivo-motor que se manifestam tanto na fala quanto na coordenação motora; (c) intervenções baseadas em ritmo e música promovem melhorias concomitantes nas habilidades motoras e auditivas; e (d) o sistema vestibular-cerebelar constitui o substrato neuroanatômico que integra funcionalmente audição e movimento.

Recomenda-se que a prática clínica em psicomotricidade incorpore sistematicamente a avaliação e a estimulação do processamento auditivo temporal, assim como a fonoaudiologia deve considerar o perfil motor das crianças atendidas. Estudos futuros devem priorizar ensaios clínicos randomizados que avaliem a eficácia de intervenções integradas (auditivo-motoras) em comparação com abordagens unimodais, além de investigações longitudinais que elucidem a direção causal da relação entre desenvolvimento auditivo e motor.

Nesse cenário, a inclusão de uma avaliação vestibular objetiva mediante exames específicos (como os VEMPs, o vHIT e a posturografia) consolida-se como uma etapa indispensável no diagnóstico diferencial e na caracterização do perfil psicomotor (Cabral; Rosa; Passos, 2023). A identificação precoce de alterações vestibulares possibilita que os programas de reabilitação psicomotora e auditivo-motora atuem de forma personalizada, aproveitando as janelas de neuroplasticidade infantil para promover o pleno desenvolvimento neurológico. Recomenda-se que pesquisas futuras explorem ensaios clínicos controlados avaliando o impacto de protocolos combinados — associando a reabilitação vestibular à estimulação auditivo-rítmica — no desempenho motor e cognitivo dessa população.

REFERÊNCIAS

- BIANCHINO, A. *et al.* **Neurotransmitters in Auditory Processing Disorders and Neurodevelopmental Conditions**. *Children*, v. 13, n. 5, p. 697, 2026.
- BIGRAS, J. *et al.* Interventions for School-Aged Children with Auditory Processing Disorder: A Scoping Review. **Healthcare**, v. 12, n. 12, p. 1161, 2024.
- CANNAVACCIUOLO, G. *et al.* Cross-domain spontaneous tempo differences in adults with developmental dyslexia: Evidence from speech and gait. **Research in Developmental Disabilities**, 2026.
- CABRAL, Aline (org.). **Tratado de Otoneurologia Infantil**. 1. ed. Ribeirão Preto: Booktoy, 2023. 440 p.
- CABRAL, Aline; ROSA, Bárbara Cristina da Silva; PASSOS, Priscila Silva. **Triagem vestibular infantil**. In: CABRAL, Aline (org.). **Tratado de Otoneurologia Infantil**. 1. ed. Ribeirão Preto: Booktoy, 2023. cap. 15, p. 301-316.
- CARRILLO, C. *et al.* Auditory rhythm facilitates perception and action in children at risk for developmental coordination disorder. **Scientific Reports**, 2024.

CHISARI, D. *et al.* Vestibular function and balance performance in children with sensorineural hearing loss. **International Journal of Audiology**, 2024.

DOS SANTOS, J. C. C. *et al.* Auditory Processing Disorder in childhood: a critical appraisal of diagnostic validity, functional assessment, and interdisciplinary practice. **Frontiers in Human Neuroscience**, 2026.

FAZULYANOVA, M. V.; BALYAKOVA, A. A. Potential for the Development of Coordination of Movement and Balance in Children with Hearing Impairments. **Neuroscience and Behavioral Physiology**, 2026.

FONSECA, Vitor da. **Manual de observação psicomotora: significação psiconeuroelógica das desordens motoras**. 2. ed. Rio de Janeiro: Wak Editora, 2010. 372 p.

FRAZÃO, A. *et al.* Consensus on the Best Practice Guidelines for Psychomotor Intervention. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 19, n. 22, p. 15229, 2022.

GOETSCHALCKX, M. *et al.* Auditory–motor synchronization in developmental coordination disorder. **Annals of the New York Academy of Sciences**, 2024.

GOETSCHALCKX, M. *et al.* Auditory-motor synchronization and interlimb coordination when walking and running in DCD. **Human Movement Science**, 2025.

GOETSCHALCKX, M. *et al.* **Interlimb Coordination and Auditory–Motor Synchronization in Children with DCD during Seated Antiphase Coordination**. *Children*, v. 11, n. 10, p. 1195, 2024.

IBRAHIMI, D. *et al.* **Sensory–Cognitive Profiles in Children with ADHD**. *Brain Sciences*, 2025.

JANZEN, T. B. *et al.* **Rhythm and Music-Based Interventions in Motor Rehabilitation: Current Evidence and Future Perspectives**. *Frontiers in Neurology*, v. 13, p. 815428, 2022.

LENSE, M. D. *et al.* **Rhythm and timing as vulnerabilities in neurodevelopmental disorders**. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, v. 376, n. 1835, p. 20200327, 2021.

LENSE, Miriam D. *et al.* **Neural oscillations and synchrony in auditory-motor coupling: implications for neurodevelopmental disorders**. *Frontiers in Human Neuroscience*, Lausanne, v. 15, e643505, p. 1-14, 2021.

MERCHANT, Hugo *et al.* Finding the beat: a neural perspective on rhythm synchronization and entrainment in human and non-human primates. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, London, v. 370, n. 1664, p. 1-12, 2015.

OBEID, R. *et al.* Impaired Fine Motor Skills in Developmental Dyslexia: A Bayesian Meta-Analysis of 5 Decades of Research. **Journal of Speech, Language, and**

Hearing Research, 2026.

PAGE, M. J. *et al.* **The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews.** *BMJ*, v. 372, n. 71, 2021.

PRANJIĆ, M. *et al.* **Auditory–Perceptual and Auditory–Motor Timing Abilities in Children with Developmental Coordination Disorder: A Scoping Review.** *Brain Sciences*, v. 13, n. 5, p. 729, 2023.

PRANJIĆ, M. *et al.* Brain-behavior correlates of rhythmic timing and auditory-motor synchronization in children with developmental coordination disorder: an EEG study. **Frontiers in Human Neuroscience**, v. 19, p. 1602580, 2025.

PRANJIĆ, M. *et al.* Children with developmental coordination disorder display difficulties in perception-action coupling. **Scientific Reports**, v. 14, 2024.

RODRÍGUEZ-ARMENDARIZ, E. *et al.* **Sensory Processing Challenges in Children with Neurodevelopmental Disorders.** *Children*, v. 11, n. 10, 2024.

SINGH, A. *et al.* A systematic review on the association between vestibular dysfunction and balance performance in children with hearing loss. **Ear and Hearing**, v. 42, n. 5, p. 1071–1083, 2021.

SUN, Y. *et al.* Characteristics of Speech Auditory Brainstem Response in ADHD. **Journal of Speech, Language, and Hearing Research**, 2024.

THAUT, Michael H.; ABIRU, Mutsumi. **Rhythmic Auditory Stimulation in rehabilitation of movement disorders: a review of current research.** *Music Perception, Berkeley*, v. 27, n. 4, p. 263-269, 2010.

TRAINOR, L. J. *et al.* Is auditory perceptual timing a core deficit of developmental coordination disorder? **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 1423, n. 1, p. 30–39, 2018.

URBANČIČ, N. B. *et al.* Appropriate Vestibular Stimulation in Children and Adolescents. **International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology**, v. 176, p. 111791, 2023.

VARUZZA, C. *et al.* Gross, Fine and Visual-Motor Skills in Children with Language Disorder. **Brain Sciences**, v. 13, n. 1, p. 41, 2022.

WEISE, S. *et al.* Relations between temporal auditory processing abilities and literacy skills over the course of primary school and how they are mediated by phonological processing. **Frontiers in Language Sciences**, 2026.