

Bianca Stephany Barbosa Vital^{1,2,3,4} 
Karen Melissa Gonzaga dos Santos⁴ 
Aryelly Dayane da Silva Nunes Araújo^{1,2,3,4,5} 
Joseli Soares Brazorotto^{1,2,3,4,5} 
Regina Tangerino de Souza Jacob⁶ 
Karinna Veríssimo Meira Taveira^{1,2,3,7} 
Sheila Andreoli Balen^{1,2,3,4,5} 

Keywords

Autism Spectrum Disorder
Remote Microphone
Auditory Perception
Children
Teens

Descritores

Transtorno do Espectro Autista
Microfone Remoto
Percepção Auditiva
Crianças
Adolescentes

Correspondence address:

Sheila Andreoli Balen
Departamento de Fonoaudiologia,
Universidade Federal do Rio Grande
do Norte – UFRN
Rua Gen. Gustavo Cordeiro de Faria,
601, Ribeira, Natal (RN), Brasil, CEP:
59012-570.
E-mail: sheila.balen@ufrn.br

Received: December 19, 2023

Accepted: July 15, 2024

Remote microphone systems in children and adolescents with autism spectrum disorders: a scoping review

Sistemas de microfone remoto em crianças e adolescentes com transtorno do espectro autista: revisão de escopo

ABSTRACT

Purpose: To map the literature on the use of the Remote Microphone System (RMS) in children and adolescents with Autism Spectrum Disorder (ASD). **Methods:** Scoping Review following the Joanna Briggs Institute recommendations and PRISMA-ScR checklist. Search was carried out in the databases: PubMed, Embase, Scopus, Web of Science, Lilacs, and gray literature, including Google Scholar and ProQuest, as well as reference lists of included studies and expert consultations. Intervention studies with children and adolescents with ASD using RMS were included, without gender, language, age, publication time, ethnicity, or geographical location restrictions. **Results:** 709 studies were identified in phase 1. After reviewing 14 full texts with eligibility, eight studies were eligible. Studies were heterogeneous in the RMS model (personal or free field), applied tests, intervention period, and location. Improvement in speech perception, social interaction, behavior, attention, auditory memory, noise tolerance, stress reduction, and modification in neural activity through electrophysiological evaluation were observed. **Conclusion:** Using RMS demonstrated benefits in speech perception, social interaction, and behavior in adolescents and children with ASD. Further studies are needed to define protocols and indication parameters in this population.

RESUMO

Objetivo: Mapear a literatura acerca do uso do Sistema de Microfone Remoto (SMR) em crianças e adolescentes com Transtorno do Espectro Autista (TEA). **Método:** Revisão de Escopo com recomendações do Instituto Joanna Briggs e do checklist PRISMA-ScR. Foi realizada busca nas bases de dados: Pubmed, Embase, Scopus, Web of Science, Lilacs e na literatura cinzenta Google Scholar e ProQuest, além de listas de referências dos estudos incluídos e consulta a experts. Foram incluídos estudos de intervenção, com crianças e adolescentes com TEA que fizeram uso do SMR, sem restrição de gênero, idioma, idade, tempo de publicação, etnia ou localização geográfica. **Resultados:** Foram identificados 709 estudos na fase 1. Após a leitura de 14 textos completos com elegibilidade, oito estudos foram elegíveis. Os estudos foram heterogêneos quanto ao modelo do SMR (individual ou em campo), dos testes aplicados, período e local de intervenção. Constatou-se favorecimento da percepção de fala com melhora na interação social, comportamento, atenção e memória auditiva, tolerância ao ruído e redução do estresse, além de modificação na atividade neural a partir da avaliação eletrofisiológica. **Conclusão:** O uso do SMR apresentou benefícios na percepção de fala, interação social e comportamento de adolescentes e crianças com TEA. Há necessidade de mais estudos para definir protocolos e parâmetros de indicação nesta população.

Study conducted at Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN - Natal (RN), Brasil.

¹Programa Associado de Pós-graduação em Fonoaudiologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN - Natal (RN), Brasil.

²Universidade Federal da Paraíba – UFPB - João Pessoa (PB), Brasil,

³Universidade Estadual de Ciências da Saúde de Alagoas – UNCISAL - Maceió (AL), Brasil.

⁴Laboratório de Inovação Tecnológica em Saúde – LAIS, Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN - Natal (RN), Brasil.

⁵Departamento de Fonoaudiologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN - Natal (RN), Brasil.

⁶Departamento de Fonoaudiologia, Faculdade de Odontologia de Bauru – FOB, Universidade de São Paulo – USP - Bauru (SP), Brasil.

⁷Departamento de Morfologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN - Natal (RN), Brasil.

Financial support: nothing to declare.

Conflict of interests: nothing to declare.



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

INTRODUCTION

In classrooms, environmental noises take many different forms, such as conversations between students, the movement of chairs and desks, the crinkling of notebooks, the sounds of the fan and air conditioning, the corridor and the street, and through the window, among many other noises that can make it difficult for the teacher to speak⁽¹⁾.

Children with Autism Spectrum Disorder (ASD) can be found in the school context. ASD is a neurodevelopmental disorder with a growing prevalence and which occurs in a heterogeneous way, being characterized by difficulties in social communication, repetitive behavior, focus of interest, and sensory alterations⁽²⁾.

These children may have persistent difficulties in communication and social interaction, as well as restricted and repetitive behavior patterns (whether behavioral or interests/activities). Interventions to help these children and adolescents develop their abilities and potential, whether in the school, family, or social environment, are essential⁽²⁾.

Research is being carried out on schoolchildren with ASD and the use of the remote microphone system (RMS) because they have listening difficulties. Studies^(3,4) have shown potential benefits when remote microphone systems are used in children and young adults^(3,4), with benefits in speech perception in the school environment after the intervention. The RMS is an assistive technology that has been widely studied and indicated in other populations, especially for individuals with hearing loss (HL)⁽⁵⁻⁷⁾ and central auditory processing disorder⁽⁸⁻¹⁰⁾.

The term RMS encompasses digital signal and frequency-modulated (FM) transmission technologies⁽¹¹⁾, which can be used in person or in the field. The first is a device made up of a transmitter that picks up the acoustic signal from the main speaker (teacher) and transmits it by digital signal to the listener (student) who is using a receiver in the ear. This acoustic signal reaches the listener with reduced noise and a better acoustic signal and is for individual use⁽¹¹⁾.

In the case of field RMS, the aim is collective use, where the voice of the main speaker is amplified and transmitted by a speaker in the field to a larger number of people, such as students in a classroom⁽¹²⁾. The Audiology Society of Australia⁽¹³⁾ has emphasized the importance of audiologists in the intervention of children with ASD by recommending RMS in various environments.

Given this panorama, the aim of this scoping review was to map the studies on the use of RMS in children and adolescents with ASD.

METHODS

Protocol and registration

This study is a scoping review following the methodological guidelines of the Joanna Briggs Institute (JBI) and the recommendations of the PRISMA-ScR checklist (Preferred Report items for systematic reviews and Meta-analyses extension of Scoping Reviews, 2018). This type of study uses a systematic approach to synthesize knowledge, identifying the main concepts,

theories, sources, and gaps in knowledge⁽¹⁴⁾. The research protocol for this study was submitted for evaluation and registration on the Open Science Framework (OSF) platform, DOI: 10.17605/OSF.IO/Q4GBF.

Eligibility criteria

The acronym 'PCC' was used to list the studies eligible for this review: P = Population (children and adolescents diagnosed with ASD); C = Concept (Evidence after intervention with Remote Microphone in children and adolescents with ASD); C = Context (use of the RMS).

Inclusion criteria

Studies evaluating the use of RMS in children and adolescents with ASD without restrictions on gender, language, age, time of publication, ethnicity, or geographical location.

Exclusion criteria

The following exclusion criteria were applied: participants with hearing loss, studies without pre- and/or post-intervention with RMS; studies with designs other than intervention; studies with children and adolescents without a diagnosis of ASD; studies with adults and/or the elderly; types of publications such as systematic reviews, meta-analyses, books, guidelines, websites, blogs.

Literature search

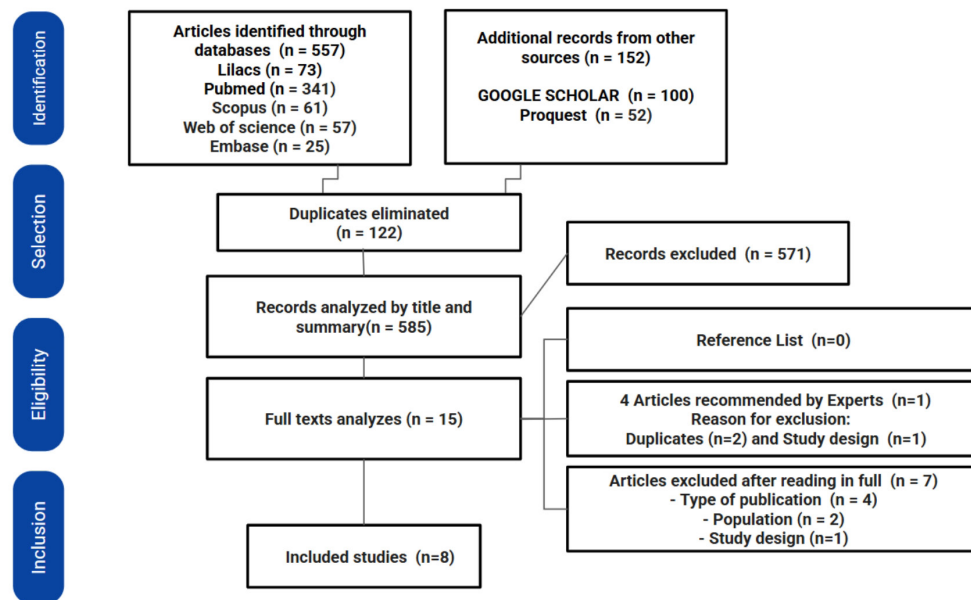
The search strategy was first carried out on Pubmed and adapted for the other databases used in this review: Embase, Scopus, Web of Science, Lilacs, Google Scholar, and ProQuest, on 16 March 2023 (Appendix 1).

After searching each database, the results were exported to the Mendeley software, where duplicate articles were identified. The file was then saved and exported to the Rayyan website (<https://www.rayyan.ai/>), where duplicates were rechecked and two independent reviewers read the title and abstract.

Study selection

The studies were selected in two phases. In the first phase, two reviewers independently analyzed the title and abstract based on the eligibility criteria. This stage was carried out on the Rayyan website. In the second phase, the full texts were read independently by the same reviewers. In both phases, a consensus meeting was held before finalizing the stage. When there was no consensus between R1 and R2 on the inclusion/exclusion of one or more studies, the third reviewer analyzed them to make a decision (Appendix 2).

The reference lists of the studies included in phase 2 were analyzed, and three experts in the field were consulted to identify any studies that may have yet to be retrieved in the initial search. These experts were contacted because they are PhD researchers with published studies on the subject presented in this review from different countries such as Australia, New Zealand, and the United States. These experts were the authors of studies



Source: Prisma-ScR adaptation by the author

Figure 1. Flow diagram according to PRISMA-ScR guidelines (adapted)

already identified in the database search. Of the four articles they indicated, only one was included, as two were duplicates and one did not meet the study design criteria, as can be seen in Figure 1.

Data analysis and extraction

Data from the study was extracted, such as author, year of publication, country, objective, sample, age, ASD diagnostic tool, language level, pre-intervention audiological acuity, questionnaires/protocols (pre- and post-intervention), assistive technology, intervention process, and main outcomes.

All the data related to the scoping review was extracted and mapped, and a qualitative synthesis was carried out.

RESULTS

Study selection

The studies were selected as shown in Figure 1. A total of 709 studies were retrieved from the electronic databases, 557 from the database, and 152 from the gray literature. After insertion into the Mendeley software, 585 studies remained after duplicates were removed, which were then analyzed for title and abstract in the Rayyan software. Following the eligibility criteria, 571 articles were excluded, followed by 14, and one was inserted by expert recommendation, following a total of 15 articles for full reading in phase 2. Of these, 7 studies were excluded and 8 were included in the qualitative synthesis and mapping of results (Figure 1).

Characteristics of the studies and the sample

The studies included were published between 2013 and 2021, five of them in the United States of America⁽¹⁵⁻¹⁹⁾, two in

Australia^(20,21) and one in New Zealand⁽²²⁾. The research groups are fourfold with studies by Schafer et al.⁽¹⁵⁻¹⁷⁾, Rance et al.^(20,21), Keller et al.⁽¹⁸⁾, Keller⁽¹⁹⁾ e Leung et al.⁽²²⁾.

Of the eight studies included, six^(15,19,22) carried out an intervention with a sample size of between 8 and 14 subjects. The studies from the Australian group^(20,21) had the largest sample size - 20 and 26 participants (Table 1). And in six studies, comorbidities associated with ASD were reported^(15,16,18,19,21,22).

As for the age range of the participants with ASD in the studies, only one⁽¹⁸⁾ involved preschoolers between 3 and 4 years old. Of the other studies, three were carried out with older children, aged between 7 and 13^(15,16,22), and in four studies the intervention was carried out with children and adolescents aged between 4 and 17^(17,19-21). Only one study⁽²¹⁾ had two groups divided by age, one with children aged 6 to 12 and one with children aged 13 to 16.

The inclusion criterion for the intervention was a confirmed diagnosis of ASD. In four studies⁽¹⁸⁻²²⁾ the diagnosis was confirmed by the researchers or multidisciplinary team through instruments such as ADOS-2, Autism Diagnostic Interview, Childhood Autism Rating Scale, ASEBA, CARS-2, in which they had access to the assessment reports.

In three studies, confirmation of the diagnosis was provided by parents and/or the school (who made the reports available)⁽¹⁵⁻¹⁷⁾, and in one study⁽¹⁵⁾ the reports were not made available to the researchers.

The linguistic development of the subjects was not characterized by the authors, and there was heterogeneity in the reported linguistic characteristics of these children and adolescents, although it was clear that all the subjects were verbal. Two studies^(18,19) used the term “minimally verbal autism” (MVA) to describe the language of their participants who had single words and echolalia. In the first study, prior assessment was carried out using the Mullen Scales of Early Learning (MSEL) protocol

to identify language delays/difficulties, and the second study defined classification using module 1 of the Autism Diagnostic Observation Schedule (ADOS-2) test.

In another study⁽¹⁷⁾, participants were classified with verbal skills after being categorized by the study examiners into five categories, namely⁽¹⁾ echolalia and few spontaneous words⁽²⁾, one to three spontaneous words⁽³⁾, produces sentences with four or more words⁽⁴⁾, produces two or three sentences and⁽⁵⁾ are conversational. In the studies by Rance et al.^(20,21) all the participants in the intervention could speak, understand, and follow verbal instructions. In the studies by Schafer et al.^(15,16) it was possible to infer that the children were verbal from the application of the BKB-SIN test to assess speech recognition ability in noise. In the study by Leung et al.⁽²²⁾, all the subjects had high-functioning autism, which suggests that the children were verbal.

Hearing acuity was previously assessed in the participants (Table 1). Only one study⁽²⁰⁾ did not mention an evaluation but implied that the participants had hearing acuity within normal standards. One study considered the report of caregivers or medical records to be normal hearing⁽¹⁹⁾; another reported a retrospective analysis of medical records on the hearing acuity of at least one of the ears, highlighting that free-field measurements were only carried out on participants who did not agree to wear headphones⁽¹⁸⁾.

The studies by Shafer et al.⁽¹⁵⁻¹⁷⁾ and Rance et al.⁽²¹⁾ presented the following as inclusion criteria in their studies: hearing screening within the previous six months (in the frequencies of 1, 2, and 4 kHz at up to 25 dB); hearing assessment within normal standards (250 to 6000 Hz with thresholds below 20dB or presence of Transient Evoked Otoacoustic Emissions - TEOAE); hearing assessment at 250 to 8000 kHz or the presence of Distortion Product Otoacoustic Emissions (DPOAE); and threshold testing at 250 to 4000 kHz respectively, to confirm that the children and adolescents in the studies did not have hearing problems. In the study by Leung et al.⁽²²⁾, the participants' hearing was assessed using DPOAE hearing screening.

Pre- and post-intervention questionnaires and protocols

All the authors used pre- and post-intervention instruments to evaluate the RMS intervention process. A variety of functions/skills were assessed as a result of the different instruments used. Auditory recognition protocols⁽¹⁵⁻²¹⁾, questionnaires to assess: auditory functions/skills^(15-17,20,21) cognitive-linguistic functions⁽¹⁷⁾, behavioral skills^(15,21) and sensory profile⁽¹⁷⁾ were used.

One study assessed the level of stress⁽²¹⁾ and another checked the acceptable noise level⁽¹⁷⁾. Social perception and cortical auditory evoked potential were also assessed⁽²²⁾. Thus, pre- and/or post-evaluation questionnaires were applied, but they were heterogeneous (Chart 1).

Assistive Technology

Personal RMS assistive technology was used in five studies^(15-17,20,22) and two studies used free-field RMS (Phonak Roger Digimaster 5000)^(18,19). However, one study used part of the sample with a personal system (Phonak Roger Focus with Roger Inspiro-FM transmitter) and part with a free-field system (Phonak Roger Digimaster 5000)⁽²¹⁾.

The models were different between the studies, and it is noteworthy that four of them still used frequency-modulated system technology^(15,16,20,21). One study did not mention the RMS model used⁽²²⁾.

Intervention process

The intervention had different characteristics in each study, including the environment, daily time, days of intervention, and duration in weeks (Figure 2). The description of the intervention process varies between the studies, two of which alternated the use of the RMS on and off during the intervention process^(18,19).

In the study by Keller et al.⁽¹⁸⁾ there was no reference to the duration of the session. In the studies by Schafer et al. and Schafer et al.^(16,17), the intervention took place over 2 hours. In the studies by Rance et al.^(20,21) the duration of the session was between 4 and 6 hours of technology use, and in the second

Table 1. Sample characterization, confirmation of ASD diagnosis, expressive language modality and audiological acuity

Author/year/place	Sample (n)	Age (years)	ASD diagnosis	Language Status	Audiological status
Keller et al. ⁽¹⁸⁾ (2021), United States of America	8	3-4	Researchers and/or multidisciplinary team	Verbal	Normal hearing
Keller ⁽¹⁹⁾ (2021), United States of America	14	4-16	Researchers and/or multidisciplinary team	Verbal	Normal hearing
Rance et al. ⁽²⁰⁾ (2014), Australia	20	8-15	Researchers and/or multidisciplinary team	Verbal	Normal hearing
Rance et al. ⁽²¹⁾ (2017), Australia	26	6-16	Multidisciplinary team	Verbal	Normal hearing
Schafer et al. ⁽¹⁵⁾ (2013), United States of America	7	9-11	Parents and confirmed by the school administration	Verbal	Normal hearing
Schafer et al. ⁽¹⁶⁾ (2014), United States of America	4	9-10	Informed by parents and confirmed by specialized professionals	Verbal	Normal hearing
Schafer et al. ⁽¹⁷⁾ (2016), United States of America	12	6-17	Carried out by professionals and reported by parents	Verbal	Normal hearing
Leung et al. ⁽²²⁾ (2021), New Zealand	12	7-13	Researchers or multidisciplinary team	Verbal	Normal hearing

Source: Own authorship

Chart 1. Questionnaires and protocols found in the studies

AUDITORY RECOGNITION	FUNCTIONS AUDITORY SKILLS	BEHAVIORAL	SENSORY PROFILE	OTHER PROTOCOLS
Sentence recognition test	APHAB	TRF	SSP	ANL
BKB-SIN	S.I.F.T.E.R	CBCL		Stress level
LTC-2	CHAPS	Behavioral characterization		Auditory temporal processing test
CNC	LIFE-R			Social Perception
	CHILD			CAEP

Note: BKB-SIN: Bamford-Kowal-Bench Speech-in-Noise Test⁽¹⁵⁻¹⁷⁾; LTC-2: The Listening Comprehension Test⁽¹⁶⁾; CNC: Consonant-Nucleos-Consonant-Word^(20,21); APHAB: Abbreviated Profile of Hearing Aid Benefit^(20,21); S.I.F.T.E.R: Supporting Success For Children With Hearing Loss⁽¹⁵⁾; CHAPS: Children's Auditory Performance Scale⁽¹⁵⁻¹⁷⁾; LIFE-R: Listening Inventory For Education - Revised^(15,16); CHILD: Children's Home Inventory for Listening Difficulties^(15,16); TRF - Teacher's Report⁽²¹⁾; CBCL: Child Behavior Checklist⁽²¹⁾; SSP: Short Sensory Profile⁽¹⁷⁾; ANL: Acceptable Noise Level test⁽¹⁷⁾; CAEP: Cortical Auditory Evoked Potential⁽²²⁾.

Source: Own authorship

INTERVENTION WITH REMOTE MICROPHONE SYSTEMS



INTERVENTION ENVIRONMENT

LABORATORY



(Keller ⁽¹⁹⁾ (2021)

SCHOOL



(Schafer et al. ⁽¹⁵⁾ (2013)
(Rance et al. ⁽²⁰⁾ (2014)
(Keller et al. ⁽¹⁸⁾ (2021)

HOME AND SCHOOL



(Schafer et al. ⁽¹⁶⁾ (2014)
(Schafer et al. ⁽¹⁷⁾ (2016)
(Rance et al. ⁽²¹⁾ (2017)
(Leung et al. ⁽²²⁾ (2021)

DAILY USE TIME

20-45MINS
(Keller ⁽¹⁹⁾ (2021)
(Schafer et al. ⁽¹⁵⁾ (2013)
(Leung et al. ⁽²²⁾ (2021)
2 HOURS
(Shafer et al. ⁽¹⁶⁾ (2014)
(Shafer et al. ⁽¹⁷⁾ (2016)
4-6 HOURS
(Rance et al. ⁽²⁰⁾ (2014)
(Rance et al. ⁽²¹⁾ (2017)
NOT MENTIONED
(Keller et al. ⁽¹⁸⁾ (2021)

DAYS

8-15 DAYS
(Rance et al. ⁽²¹⁾ (2017)
(Leung et al. ⁽²²⁾ (2021)
13-30 DAYS
(Rance et al. ⁽²⁰⁾ (2014)
(Schafer et al. ⁽¹⁵⁾ (2013)
(Shafer et al. ⁽¹⁶⁾ (2014)
(Shafer et al. ⁽¹⁷⁾ (2016)
NOT MENTIONED
(Keller ⁽¹⁹⁾ (2021)
(Keller et al. ⁽¹⁸⁾ (2021)

TOTAL WEEKS

1-3 WEEKS
(Rance et al. ⁽²¹⁾ (2017)
(Leung et al. ⁽²²⁾ (2021)
2-6 WEEKS
(Schafer et al. ⁽¹⁵⁾ (2013)
(Shafer et al. ⁽¹⁶⁾ (2014)
(Rance et al. ⁽²⁰⁾ (2014)
(Shafer et al. ⁽¹⁷⁾ (2016)
NOT MENTIONED
(Keller ⁽¹⁹⁾ (2021)
(Keller et al. ⁽¹⁸⁾ (2021)

Figure 2. Intervention process with remote microphone systems

study, there were two 20-minute acclimatization sessions on two consecutive days.

The study by Keller⁽¹⁹⁾ included three conditions of use of the RMS, with 30 minutes of use per condition. In the study by Schafer et al.⁽¹⁵⁾, the technology was used for 45 minutes, with an acclimatization period of 15 to 20 minutes a day for a week.

Two studies did not mention the intervention time in days^(18,19). The study by Rance et al.⁽²⁰⁾ took place on five days of the week and in the study by Rance et al.⁽²¹⁾ the intervention period was 8 to 10 days. In the study by Schafer et al.⁽¹⁵⁾ the intervention took place over 27 days, including periods with the RMS on (8 days), RMS off (6 days), and then RMS back on (13 days). In the study by Schafer et al.⁽¹⁶⁾ it was between 20 and 30 days, a period of days similar to the study by Schafer et al.⁽¹⁷⁾, which was an average of 30 days. In the study by Leung et al.⁽²²⁾ the period was nine days of auditory training on a computer lasting 20 to 30 minutes, using the RMS during the sessions, and at school for 15 days (Figure 2).

With regard to the location of the intervention, seven studies included the school environment^(15-18,20-22), and of these, four carried

out the intervention at home at the same time^(16,17,21,22). The only laboratory-only study which did not perform the intervention in a school environment⁽¹⁹⁾ applied background noise to simulate typical school noise. Two studies filmed all the intervention sessions to analyze the subjects' behavior^(18,19). However, in the studies included, there was no homogeneous detailing of the physical and acoustic characteristics of the environments (dimensions, flooring, furniture); two studies reported controlling background noise^(18,21) during the intervention - below 65 and 45 dB, respectively. The details of the pedagogical activity involving the school environment were also heterogeneous, with one study reporting that the students were seated in a circle⁽¹⁸⁾ and another that there was a group activity⁽¹⁸⁾.

Objectives and outcomes

The objectives and outcomes were similar in all studies, as they proposed to study the possible effects of the use of RMS technology in children and adolescents with ASD in auditory aspects, as shown in Table 2.

Table 2. Objectives and outcomes of the scoping review studies

Author/year/place	Objective	Outcome
Keller et al. ⁽¹⁸⁾ (2021), United States of America	To verify the effectiveness of the use of RMS in the functional listening performance of preschoolers with ASD and language disorders	Improved performance in functional listening and a reduction in response time to verbal commands.
Keller ⁽¹⁹⁾ (2021), United States of America	To examine the effects of the use of RMS on the listening difficulties in children with ASD and severe language disorder	Improved auditory performance in minimally verbal ASD with RMS.
Rance et al. ⁽²⁰⁾ (2014), Australia	Evaluating mono and binaural processing skills in children with ASD	The FM system has shown clear benefits for hearing and communication in children with ASD. There was an improvement in speech perception in noise, social social interaction and classroom behavior.
Rance et al. ⁽²¹⁾ (2017), Australia	To evaluate the effect of auditory intervention on the response to stress in school children with ASD.	Improved speech perception in (noisy) everyday listening conditions, with better interaction, and reduced stress related to hearing.
Schafer et al. ⁽¹⁵⁾ (2013), United States of America	To verify the benefit of the FM System in children with ASD and ADHD through measures of performance and speech recognition in noise, and behavior observed in the classroom;	Improved speech recognition in noise and behavior during classroom tasks with the use of RMS.
Schafer et al. ⁽¹⁶⁾ (2014), United States of America	Report on speech recognition performance in noise; listening comprehension; by participants, parents and teachers with RM	Improved speech recognition and communication
Schafer et al. ⁽¹⁷⁾ (2016), United States of America	To evaluate the potential benefits of RM in children with ASD.	Improved speech in noise, attention, auditory memory, noise tolerance and listening comprehension
Leung et al. ⁽²²⁾ (2021), New Zealand	Exploring the effects of auditory training on the social perception skills of children with ASD	Improved behavioral performance in social perception measures, electrophysiological results showed changes in neural activity in response to post-intervention changes

Source: Own authorship

DISCUSSION

This study analyzed and synthesized eight scientific articles, published in international literature, with the aim of mapping studies with children and adolescents with ASD that used the RM system.

The studies found are concentrated in developed countries: the USA⁽¹⁵⁻¹⁹⁾, Australia^(20,21), and New Zealand⁽²²⁾, with a greater number in the USA. No Brazilian study was found. The non-inclusion of Brazilian studies in this review may be a reflection of the use and availability of RM technology in the Brazilian National Health System (SUS). Access is currently regulated for the hearing-impaired population enrolled in the school system⁽²³⁾. As studies are scarce, there is still no national recommendation, or international guidelines, for the use of RM in this population.

It can be considered that the publications included are recent, since all the studies found in this scoping review are from the last decade, and it can be inferred that the use of RMS in subjects with ASD is still under-explored.

The studies investigated children and adolescents of different age groups. One study⁽¹⁸⁾ only involved young children between three and four years old, while the other studies⁽¹⁵⁻²¹⁾ included children from six years old to adolescents. The wider age range of the studies reflects the methodological differences found, since each age group has its own specifications for selecting assistive technologies and the intervention process, in a more global way. The selection of older children rather than preschoolers as participants in most of the studies in this Review may be associated with the fact that the use of personal RMS is challenging in young children - it can cause the occlusion

effect, or even accidents with the olives/receivers. Another limiting factor would be the availability of RMS in the free field, as it is not suitable for reverberant environments. In this aspect of characterizing the environmental space in which the RMS intervened, the details are heterogeneous between the studies. Despite this, it is an important aspect to consider in intervention and teaching environments, since controlling noise and reverberation contributes positively to hearing accessibility.

The sensory alterations presented by children with ASD, such as hypersensitivity to sounds or acceptance of wearing devices in the ears, language and communication difficulties, or difficulties in reporting personal experiences verbally^(24,25), may have restricted the number of studies with children under the age of six. In at least five studies^(17,19-22), adolescents used RMS with an in-ear receiver and did not show any resistance to use.

Two included studies used free-field RMS^(18,19). In the study by Rance et al.⁽²¹⁾, participants were divided into two groups according to age. The group of younger children (6 years old) used free-field RMS, while the older children (16 years old) used RMS with an in-ear receiver, possibly due to the challenges mentioned above. Studies carried out by Schafer et al.⁽³⁾ and Feldman et al.⁽⁴⁾ used personal RMS in children from six years old to young adults, thus corroborating that the use in older children would be facilitated in the intervention process, as well as being more collaborative with the use of personal RMS in any intervention environment.

Confirmation of the diagnosis of ASD is fundamental for defining the therapeutic approach, as well as the indication of assistive technology. In this review, the diagnostic instrument/assessment for ASD was not clearly reported in one article⁽¹⁵⁾,

but the authors mention that the study population came from one service, so it is possible that the diagnosis was previously established according to the criteria adopted by the institution. Even so, confirming this diagnosis at the time of the research could easily be done by applying a protocol for diagnosing ASD in the subjects of his study. A similar approach was taken in another study⁽²²⁾, in which the CARS-2 protocol was applied to confirm the participants' diagnosis of ASD. All the other studies⁽¹⁶⁻²¹⁾ attested to the diagnosis of ASD through instruments or access to diagnostic reports, even when the parents and/or school reported the diagnosis. The level of support of the subjects included in the studies was not detailed, which does not allow inferences about the indication of the use of RMS in the population with ASD from this indication. The classification of the level of support in ASD was proposed in the DSM-V in 2013. As the studies included were from 2013 to 2021, it is possible that the adoption of these classification criteria was not adopted in the early studies, but that they could have added value to the more recent studies.

The participants' language development is described as verbal. However, the level of language was heterogeneous: there were children with little linguistic repertoire⁽¹⁷⁻¹⁹⁾, others with greater linguistic skills^(17,20,21), and even those who were verbal, without having had a language characterization^(15,16,22). Evaluating the verbal skills of autistic children is of great importance, as most of them have different language and speech difficulties^(26,27). Thus, understanding whether an individual with ASD is verbal favors the possibility of applying questionnaires aimed at the research participant regarding the use of the RMS, and can contribute to collecting information during the use of the device, as was done in the study by Schafer et al.⁽¹⁷⁾, in which the children answered the LIFE-R questionnaire. The possibility of measuring the results of the use of assistive technology more widely can provide important support not only in establishing criteria for the indication of RMS but also in therapeutic monitoring, favoring adjustments to the technology during its use.

With regard to the participants' hearing acuity, in one study the hearing assessment was not carried out⁽²⁰⁾, and in another, only the report of guardians was taken into account⁽¹⁹⁾. This information is relevant and worrying, given that even mild, unidentified hearing loss can cause damage both to the development of hearing skills and to the process of language development⁽²⁸⁾. The diagnosis of the presence or absence of peripheral hearing loss is fundamental since the indication of assistive technology requires this information. Thus, in the absence of prior information on hearing acuity, priority should be given to hearing screening or audiological assessment⁽²⁹⁾. All the other studies^(15-17,21,22) confirmed the individuals' hearing through tests such as transient otoacoustic emissions (TEOAE), distortion product otoacoustic emissions (DPOAE), tonal hearing thresholds, free field measurements and/or retrospective analysis of medical records. In addition to this measurement, checking the RMS itself by measuring its transparency is essential to promote the best and most individualized adaptation possible, although its application was not mentioned in the studies included.

During the intervention process, there was variability in the time of use day/session in minutes or hours with RMS. In the

studies by Schafer et al.^(16,17), Keller et al.⁽¹⁸⁾, Schafer et al.^(20,21) the intervention time was between 2 and 6 hours per day, while in the other studies, this time was shorter or not reported^(15,19,22). It is important to note that none of the eight studies reported confirmation of the use of assistive technology by teachers/parents through daily descriptive monitoring of RMS use during the intervention. This record would make it easier to monitor the use and effectiveness of the technology since it depends on use by the main speaker - in the case of the studies included, teachers and parents.

Of the eight studies, two did not mention the intervention time^(18,19), and six reported an intervention period of 8 to 10 days (two weeks) and a maximum of 30 days (6 weeks)^(15-17,20-22).

The benefits and criteria for indicating RMS for the hearing impaired (HI) population are well known and well described in the literature, a scenario not yet found for the ASD population. In the studies by Benítez-Barrera et al.^(5,6,30), RMS intervention was carried out on children with AD over two weekends, alternating between RMS and no RMS. In the two studies on RMS at home by children with AD, and the studies on RMS and ASD presented here, from 8 to 30 days of intervention, it was possible to observe benefits from assistive technology, with improvements in speech perception in all the studies. Even so, looking at the impact of improved auditory accessibility and understanding the differences between AD and ASD, we can infer that the longer intervention time benefits auditory input through RMS technology, as the improvement in speech perception over time favors the auditory plasticity mechanism⁽³¹⁾.

With regard to the environment, only one study carried out the intervention exclusively in a laboratory with typical school noise⁽¹⁹⁾. The school was the main environment chosen by the researchers^(15,18,20) for the intervention process, although with limitations in the description of the teaching activities carried out during the observation period - a context that can also interfere with background noise. In this sense, two studies refer to the control of background noise^(18,21), however, the detailing of the characteristics of the environment in physical and acoustic terms is limited and there is no standard of description.

The intervention took place at home and/or at school in four studies^(16,17,21,22). The use of RMS in the home environment is still understudied, probably due to the lack of evidence in favor of its feasibility and effectiveness in the home environment⁽⁵⁾, which has more variables and researchers have less control over them. However, as it is an environment in which children spend a lot of time during the week, the school, as well as being an environment of interaction and where there are environmental distractors⁽³²⁾, becomes the main environment for intervention and observation of the benefit of the use of RMS, with instruments that allow this benefit to be monitored.

Moreover, teachers must be trained in new strategies that will facilitate the children's learning process⁽³³⁾. In the study by Sposito et al.⁽³⁴⁾, the lack of support from teachers was cited as a challenge by children and adolescents with AD for the use of RMS in the classroom.

Different instruments were used for the pre- and post-use of RMS in the children. The ANL test was used in one study⁽¹⁷⁾ to observe the noise level that was acceptable with or without

the use of RMS. The study by Koiek et al.⁽³⁵⁾ also applied the ANL to 93 children of both sexes, aged 7-12, separated into two groups, with and without a learning disorder, and concluded that the group with ASD tolerated less background noise. In the study by Freyaldenhoven and Smiley⁽³⁶⁾, the acceptable noise level was assessed in 32 children aged 8-12 with normal hearing. They assessed the comfortable hearing level (MCLs) and the maximum background noise levels (BNLs) to obtain the ANL and found that the acceptable noise level was independent of the gender and age of the children in the study. The results suggest research with children with hearing loss and ANL to predict the success or rejection of hearing aids. These studies also reported that the test applies to children quickly^(35,36). The CNC test was only used in the two studies by Rance et al.^(20,21). This is an old test⁽³⁷⁾ for assessing speech perception in subjects with or without hearing difficulties⁽³⁸⁻⁴⁰⁾.

Auditory temporal processing skills were assessed using the technique of Alcántara et al.⁽⁴¹⁾, who observed a difference in the children with ASD in their study when compared to controls (matched by age and Intelligence Quotient), suggesting that children with ASD had reduced sensitivity to temporal modulation. Rance et al.⁽²⁰⁾ used this technique, showing that younger children with ASD were less sensitive to temporal changes. The LISN-S test, which assesses binaural processing, was only applied by Rance et al.⁽²⁰⁾, who observed poor integration in children with ASD. The test (LISN-S) was also reported in the study by Cameron et al.⁽⁴²⁾ who evaluated ten children at risk of Central Auditory Processing Disorder (CAPD), with worse results in all LISN-S measures for these children than for their age-matched controls, concluding that this test would be promising in the CAP test battery.

In these three studies, Schafer et al.⁽¹⁵⁻¹⁷⁾ used the BKB-SIN in common to evaluate speech recognition in noise⁽⁴³⁾. The BKB-SIN was applied in the study by Ng et al.⁽⁴⁴⁾ in mixed groups composed of adults without AD, children without AD, and children with AD, demonstrating the reliability of the results. Other studies with children have also used this test in their investigations⁽⁴⁵⁻⁴⁹⁾.

The LTC-2 test assesses auditory comprehension and was carried out in the study by Schafer et al.⁽¹⁶⁾.

The studies by Keller et al.⁽¹⁸⁾ and Keller⁽¹⁹⁾ did not use standardized instruments to assess speech recognition. The authors adopted an observational procedure of listening performance through questions to the children, based on three categories, and following the level of communication. Although they did not use a validated instrument, they were able to prove an improvement in speech recognition in these minimally verbal children. The use of validated instruments is important because they present standards of normality that favor the interpretation of results clearly. Although the included studies evaluated different skills, there was an improvement in speech perception in all the subjects with ASD who used the RMS.

Among the questionnaires that were applied, CHAPS was used in three of the studies in this review⁽¹⁵⁻¹⁷⁾. LIFE was also chosen and applied^(16,17,20), APHAB was used in two studies^(20,21) and, finally, CHILD was applied in two studies^(16,17). The purpose of these questionnaires is to extract information about listening

skills and difficulties in the school environment and/or at home. These instruments have also been used in studies with subjects with APD and the use of RMS, as hearing screening, in elderly people with AD and use of hearing aids, as well as in subjects with ASD⁽⁵⁰⁻⁵⁵⁾. The selection of the instrument to gather information on listening skills and difficulties is particularly relevant in the population with non-verbal ASD, and structured observation is an important marker for this audience.

Behavioral aspects were assessed with the CBCL and TRF in the study by Rance et al.⁽²¹⁾ and a behavioral characterization in the study by Schafer et al.⁽¹⁵⁾. The CBCL helps to identify emotional disorders such as depression and anxiety, attention difficulties, as well as aggressive behavior, and there has been research into children in custody, anxiety and affective problems, and bipolar disorder. TRF identifies children's interfering behaviors in the school environment⁽⁵⁶⁻⁵⁹⁾. Improved hearing accessibility can also change the type and frequency of interfering behaviors, which is yet another variable to be observed.

The sensory profile was only explored in one study⁽¹⁷⁾, where they observed that participants with ASD when using the RMS, had less difficulty in auditory filtering and visual/auditory sensitivity. In the study by Lyons-Warren et al.⁽⁶⁰⁾, when characterizing these children with ASD using the SSP instrument, they observed among the groups that there were children who had isolated hearing alterations and another group with concomitant differences in hearing and taste. The study by O'Brien et al.⁽⁶¹⁾ corroborates these findings in children with ASD, as they found high levels of auditory/visual hypersensitivity compared to controls. Thus, the SSP is an instrument widely used in this population^(62,63), and the study by Schafer et al.⁽¹⁷⁾ in this review, when comparing with and without RMS, showed an improvement in the hearing condition with the use of RMS in this population.

The level of stress was studied by checking the concentration of salivary cortisol in the children, which is considered an important biomarker of stress^(64,65). Studies such as those by Tordjman et al.⁽⁶⁶⁾ and Ogawa et al.⁽⁶⁷⁾ have been carried out with children with ASD to assess cortisol levels, as these children show variable diurnal regulation and greater reactivity, especially in older children⁽⁶⁸⁾. Only one study in this review, that of Rance et al.⁽²¹⁾, studied stress through this biomarker, and it was observed that cortisol levels were high in children who had worse speech perception, generating greater auditory effort, which would probably be associated with a higher level of anxiety when performing auditory tasks.

The ACS was used in one of the studies⁽²²⁾, which is a measure of social perception⁽⁶⁹⁾ and is a scale that can be carried out individually or in groups. Leung et al.⁽²²⁾ found that when comparing the use of RMS and auditory training on the computer for three weeks, there was a significant improvement in social perception ability, so much so that children with ASD outperformed the control group (CG, which received no intervention) in the category of naming affect and matched the prosody scores of social perception with the peers of CG children. These results allow us to infer that the intervention process was beneficial for children with ASD and that it favored an improvement in social perception.

In the study by Leung et al.⁽²²⁾, the authors carried out the electrophysiological measure of Mismatch response (MMR) in children with ASD, and verified changes in the post-intervention time windows, although the results showed that it was not within the expected “normal” range for auditory processing. Thus, it may be thought that the intervention time was insufficient to normalize this processing, but it has already brought benefits to the children in the study when compared with their performance in the pre-intervention stage, and when compared with the post-intervention CG. Even so, studies need to be carried out to corroborate these findings with better control conditions, as the MMR is promising for investigating the auditory maturation of children, as mentioned in the systematic review and meta-analysis carried out by Themas et al.⁽⁷⁰⁾. In addition, MMR can be related bilaterally in the auditory and frontal cortex, with laterality to the left hemisphere when speech is processed⁽⁷¹⁾. Other electrophysiological measures can also be used as markers of changes in auditory skills, such as those included in the auditory processing assessment battery⁽⁷²⁾.

The studies⁽¹⁵⁻²²⁾ presented similarities in their objectives, that is, the process of intervention with RMS in the population with autism was the baseline and the outcome of the observation and characterization of the pre- and post-intervention findings. There was also a similarity in the results, which showed that improved speech perception was the main benefit of the RMS intervention. However, the studies listed here indicated other possible benefits that assistive technology could promote, such as behavioral and social aspects, reduction in stress levels, modification of the electrophysiological response after use of RMS and auditory training, and minimization of auditory effort.

CONCLUSION

The results of the scoping review showed that children and adolescents with ASD benefited from the RMS assistive technology intervention process by improving speech perception. These results have contributed to the development process of these children in school, family, and social environments.

Even so, more research should be carried out with a larger sample size and similar methodologies to provide evidence regarding the criteria for indicating the technology. The use of these tools to more effectively measure the impact of the auditory input favored by the use of RMS can highlight not only the positive results regarding speech perception, but also secondary impacts, which are already evident in the studies in this review, but which require further studies to corroborate these findings.

Hence, RMS is promising for use in this population, as it minimizes difficulties in speech perception and provides secondary behavioral benefits, reducing listening effort and stress.

REFERENCES

- Nelson LH, Anderson K, Whicker J, Barrett T, Muñoz K, White K. Classroom listening experiences of students who are deaf or hard of hearing using listening inventory for education—revised. *Lang Speech Hear Serv Sch*. 2020;51(3):720-33. http://doi.org/10.1044/2020_LSHSS-19-00087. PMID:32392436.
- APA: American Psychiatric Association. *Transtorno do Espectro Autista. Manual diagnóstico e estatístico de transtornos mentais. DSM-5*. Porto Alegre: Artmed; 2014.
- Schafer EC, Gopal KV, Mathews L, Thompson S, Kaiser K, McCullough S, et al. Effects of auditory training and remote microphone technology on the behavioral performance of children and young adults who have autism spectrum disorder. *J Am Acad Audiol*. 2019;30(5):431-43. <http://doi.org/10.3766/jaaa.18062>. PMID:31070123.
- Feldman JI, Thompson E, Davis H, Keceli-Kaysili B, Dunham K, Woynaroski T, et al. Remote microphone systems can improve listening-in-noise accuracy and listening effort for youth with autism. *Ear Hear*. 2022;43(2):436-47. <http://doi.org/10.1097/AUD.0000000000001058>. PMID:35030553.
- Benítez-Barrera CR, Angley GP, Tharpe AM. Remote microphone system use at home: impact on caregiver talk. *J Speech Lang Hear Res*. 2018;61(2):399-409. http://doi.org/10.1044/2017_JSLHR-H-17-0168. PMID:29330553.
- Benítez-Barrera CR, Thompson EC, Angley GP, Woynaroski T, Tharpe AM. Remote microphone system use at home: impact on child-directed speech. *J Speech Lang Hear Res*. 2019;62(6):2002-8. http://doi.org/10.1044/2019_JSLHR-H-18-0325. PMID:31112670.
- Thompson EC, Benítez-Barrera CR, Angley GP, Woynaroski T, Tharpe AM. Remote microphone system use in the homes of children with hearing loss: impact on caregiver communication and child vocalizations. *J Speech Lang Hear Res*. 2020;63(2):633-42. http://doi.org/10.1044/2019_JSLHR-19-00197. PMID:31967941.
- Young D, McPherson B, Hickson L, Lawson M. Preferred FM system listening levels of children with central auditory processing disorders. *Annual Summer Institute of the Academy-of-Rehabilitative-Audiology*. 1997.
- Phonak. Ear-level FM receiver stimulates auditory neural plasticity in children with APD. *Field Study News* [Internet]. 2006 [citado em 2023 Set 10]. Disponível em: https://www.phonakpro.com/content/dam/phonakpro/gc_hq/fr/resources/evidence/field_studies/FSN_2006_EAR-level%20FM%20receiver%20stimulates%20auditory%20neural%20plasticity%20in%20children%20with%20APD_GB.pdf
- Sharma M, Purdy SC. A case study of an 11-year-old with auditory processing disorder. *Aust N Z J Audiol*. 2007;29(1):40-52. <http://doi.org/10.1375/audi.29.1.40>.
- Barker RE. Running head: experiences of remote microphone systems [thesis]. Canterbury: School of Psychology, Speech and Hearing University of Canterbury; 2020.
- Phonak. Roger DigiMaster 5000 [Internet]. 2013 [citado em 2023 Set 10]. Disponível em: https://www.phonakpro.com/content/dam/phonakpro/gc_hq/en/products_solutions/wireless_accessories/roger_dynamic_soundfield/documents/datasheet_roger_dynamic_soundfield_digimaster_5000.pdf
- Audiology Australia Submission. NDIA Consultation Paper: Interventions for children on the autism spectrum [Internet]. 2021 [citado em 2023 Ago 6]. Disponível em: <https://audiology.asn.au/Tenant/C0000013/Submission%20to%20NDIA%20on%20interventions%20for%20children%20on%20the%20autism%20spectrum.pdf>
- Tricco AC, Lillie E, Zarin W, O'Brien KK, Colquhoun H, Levac D, et al. PRISMA Extension for Scoping Reviews (PRISMA-ScR): checklist and Explanation. *Ann Intern Med*. 2018;169(7):467-73. <http://doi.org/10.7326/M18-0850>. PMID:30178033.
- Schafer EC, Mathews L, Mehta S, Hill M, Munoz A, Bishop R, et al. Personal FM systems for children with autism spectrum disorders (ASD) and/or attention-deficit hyperactivity disorder (ADHD): an initial investigation. *J Commun Disord*. 2013;46(1):30-52. <http://doi.org/10.1016/j.jcomdis.2012.09.002>. PMID:23123089.
- Schafer EC, Traber J, Layden P, Amin A, Sanders K, Bryant D, et al. Use of wireless technology for children with auditory processing disorders, attention-deficit hyperactivity disorder, and language disorders. *Semin Hear*. 2014;35(3):193-205. <http://doi.org/10.1055/s-0034-1383504>.
- Schafer EC, Wright S, Anderson C, Jones J, Pitts K, Bryant D, et al. Assistive technology evaluations: remote-microphone technology for children with Autism Spectrum Disorder. *J Commun Disord*. 2016;64:1-17. <http://doi.org/10.1016/j.jcomdis.2016.08.003>. PMID:27592101.

18. Keller MA, Tharpe AM, Bodfish J. Remote microphone system use in preschool children with autism spectrum disorder and language disorder in the classroom: a pilot efficacy study. *Am J Speech Lang Pathol*. 2021;30(1):266-78. http://doi.org/10.1044/2020_AJSLP-20-00056. PMID:33201722.
19. Keller MA. Listening difficulty in children with autism spectrum disorder: evaluation and intervention [dissertation]. Nashville: Faculty of the Graduate School of Vanderbilt University; 2021.
20. Rance G, Saunders K, Carew P, Johansson M, Tan J. The use of listening devices to ameliorate auditory deficit in children with autism. *J Pediatr*. 2014;164(2):352-7. <http://doi.org/10.1016/j.jpeds.2013.09.041>. PMID:24183205.
21. Rance G, Chisari D, Saunders K, Rault JL. Reducing listening-related stress in school-aged children with autism spectrum disorder. *J Autism Dev Disord*. 2017;47(7):2010-22. <http://doi.org/10.1007/s10803-017-3114-4>. PMID:28389756.
22. Leung JH, Purdy SC, Corballis PM. Improving emotion perception in children with autism spectrum disorder with computer-based training and hearing amplification. *Brain Sci*. 2021;11(4):469. <http://doi.org/10.3390/brainsci11040469>. PMID:33917776.
23. Brasil. Portaria No 3, de 19 de fevereiro de 2020. Torna pública a decisão de ampliar o uso do Sistema de Frequência Modulada Pessoal para indivíduos com deficiência auditiva de qualquer idade matriculados em qualquer nível acadêmico, no âmbito do Sistema Único de Saúde - SUS [Internet]. Diário Oficial da União; 2020 [citado em 2023 Ago 6]. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/portaria-n-3-de-19-de-fevereiro-de-2020-244302714?fbclid=IwAR0mct-oi2OB79wWdqBwr-YfQnH6PLDjCp2P1vTk4ycEZklAQnLrJaCnso>
24. Sanz-Cervera P, Pastor-Cerezuela G, González-Sala F, Tárraga-Mínguez R, Fernández-Andrés MI. Sensory processing in children with autism spectrum disorder and/or attention deficit hyperactivity disorder in the home and classroom contexts. *Front Psychol*. 2017;8:8. <http://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01772>. PMID:29075217.
25. Posar A, Visconti P. Sensory abnormalities in children with autism spectrum disorder. *J Pediatr (Rio J)*. 2018;94(4):342-50. <https://doi.org/10.1016/j.jped.2017.08.008>.
26. Campelo LD, Lucena JA, de Lima CN, de Araújo HMM, Viana LGO, Veloso MML, et al. Autismo: um estudo de habilidades comunicativas em crianças. *Rev CEFAC*. 2009;11(4):598-606. <http://doi.org/10.1590/S1516-18462009000800008>.
27. de Campos LK, Fernandes FDM. Perfil escolar e as habilidades cognitivas e de linguagem de crianças e adolescentes do espectro do autismo. *CoDAS*. 2016;28(3):234-43. <http://doi.org/10.1590/2317-1782/20162015023>.
28. Colella-Santos MF, Bragato GR, Martins PMF, Dias AB. Triagem auditiva em escolares de 5 a 10 anos. *Rev CEFAC*. 2009;11(4):644-53. <http://doi.org/10.1590/S1516-18462009000800013>.
29. Costa KTL. Análise da avaliação audiológica e de hipersensibilidade em crianças com risco para o transtorno do espectro autista [dissertação]. Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte; 2021.
30. Benítez-Barrera CR, Grantham DW, Hornsby BWY. The challenge of listening at home: speech and noise levels in homes of young children with hearing loss. *Ear Hear*. 2020;41(6):1575-85. <http://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000896>. PMID:33136633.
31. Kappel V, Moreno ACP, Buss CH. Plasticity of the auditory system: theoretical considerations. *Rev Bras Otorrinolaringol (Engl Ed)*. 2011;77(5):670-4. PMID:22030979.
32. Bertachini ALL, Pupo AC, Morettin M, Martinez MAN, Bevilacqua MC, Moret ALM, et al. Frequency modulation system and speech perception in the classroom: a systematic literature review. *CoDAS*. 2015;27(3):292-300. <http://doi.org/10.1590/2317-1782/20152014103>. PMID:26222948.
33. de Carvalho DS, Pedruzzi CM. Uso do sistema de frequência modulada por escolares com perda auditiva. *Distúrb Comun*. 2019;31(1):12-21. <http://doi.org/10.23925/2176-2724.2019v31i1p12-21>.
34. Spósito C, Carneiro LA, Bento BCS, Bucuvic ÉC, Jacob RTS. Resistência ao uso do Sistema FM por crianças e adolescentes: fato ou mito? Uma análise de prontuários de pacientes atendidos em um serviço de saúde auditiva. *Rev CEFAC*. 2023;25(1):e8022. <http://doi.org/10.1590/1982-0216/20232518022s>.
35. Koiek S, Pourbakht A, Mahdavi ME, Tahaei AA. Acceptable noise level in learning disordered children. *Aud Vest Res*. 2018;27(2):86-92.
36. Freyaldenhoven MC, Smiley DF. Acceptance of background noise in children with normal hearing. *J Educ Audiol*. 2006;13:27-31.
37. Peterson GE, Lehiste I. Revised CNC lists for auditory tests. *J Speech Hear Disord*. 1962;27(1):62-70. <http://doi.org/10.1044/jshd.2701.62>. PMID:14485785.
38. Bode DL, Carhart R. Estimating CNC discrimination with spondee words. *J Acoust Soc Am*. 1975;57(5):1216-8. <http://doi.org/10.1121/1.380549>. PMID:1127177.
39. Causey GD, Hood LJ, Hermanson CL, Bowling LS. The Maryland CNC Test: normative studies. *Audiology*. 1984;23(6):552-68. <http://doi.org/10.3109/00206098409081538>. PMID:6517748.
40. Mendel LL, Mustain WD, Magro J. Normative data for the Maryland CNC Test. *J Am Acad Audiol*. 2014;25(8):775-81. <http://doi.org/10.3766/jaaa.25.8.7>. PMID:25380123.
41. Alcántara JI, Cope TE, Cope W, Weisblatt EJ. Auditory temporal-envelope processing in high-functioning children with Autism Spectrum Disorder. *Neuropsychologia*. 2012;50(7):1235-51. <http://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2012.01.034>. PMID:22349444.
42. Cameron S, Dillon H, Newall P. The listening in spatialized noise test: an auditory processing disorder study. *J Am Acad Audiol*. 2006;17(5):306-20. <http://doi.org/10.3766/jaaa.17.5.2>. PMID:16796298.
43. Killion MC, Niquette PA, Revit LJ, Skinner MW. Quick SIN and BKB-SIN, two new speech-in-noise tests permitting SNR-50 estimates in 1 to 2 min. *J Acoust Soc Am*. 2001;109(5):2502. <https://doi.org/10.1121/1.4744912>.
44. Ng SL, Meston CN, Scollie SD, Seewald RC. Adaptation of the BKB-SIN Test for use as a pediatric aided outcome measure. *J Am Acad Audiol*. 2011;22(6):375-86. <http://doi.org/10.3766/jaaa.22.6.6>. PMID:21864474.
45. Gifford RH, Shalloo JK, Peterson AM. Speech recognition materials and ceiling effects: considerations for cochlear implant programs. *Audiol Neurotol*. 2008;13(3):193-205. <http://doi.org/10.1159/000113510>. PMID:18212519.
46. Wilson RH, McArdle RA, Smith SL. An evaluation of the BKB-SIN, HINT, QuickSIN, and WIN materials on listeners with normal hearing and listeners with hearing loss. *J Speech Lang Hear Res*. 2007;50(4):844-56. [http://doi.org/10.1044/1092-4388\(2007\)059](http://doi.org/10.1044/1092-4388(2007)059). PMID:17675590.
47. Donaldson GS, Chisolm TH, Blasco GP, Shinnick LJ, Ketter KJ, Krause JC. BKB-SIN and ANL predict perceived communication ability in cochlear implant users. *Ear Hear*. 2009;30(4):401-10. <http://doi.org/10.1097/AUD.0b013e3181a16379>. PMID:19390441.
48. Holder JT, Sheffield SW, Gifford RH. Speech understanding in children with normal hearing. *Otol Neurotol*. 2016;37(2):e50-5. <http://doi.org/10.1097/MAO.0000000000000907>. PMID:26756155.
49. Holder JT, Levin LM, Gifford RH. Speech Recognition in noise for adults with normal hearing: age-normative performance for AzBio, BKB-SIN, and QuickSIN. *Otol Neurotol*. 2018;39(10):e972-8. <http://doi.org/10.1097/MAO.0000000000002003>. PMID:30247429.
50. Gil, D. Treinamento auditivo formal em adultos com deficiência auditiva [tese]. São Paulo: Programa de Pós-graduação em Distúrbios da Comunicação Humana, Universidade Federal de São Paulo; 2006.
51. Kuk F, Jackson A, Keenan D, Lau CC. Personal amplification for school-age children with auditory processing disorders. *J Am Acad Audiol*. 2008;19(6):465-80. <http://doi.org/10.3766/jaaa.19.6.3>. PMID:19253780.
52. Wilson WJ, Jackson A, Pender A, Rose C, Wilson J, Heine C, et al. The CHAPS, SIFTER, and TAPS-R as Predictors of (C)AP Skills and (C)APD. *J Speech Lang Hear Res*. 2011;54(1):278-91. [http://doi.org/10.1044/1092-4388\(2010/09-0273\)](http://doi.org/10.1044/1092-4388(2010/09-0273)). PMID:20689023.
53. Flores NGC, Iório MCM. Limitação de atividades em idosos: estudo em novos usuários de próteses auditivas por meio do questionário APHAB. *Rev Soc Bras Fonoaudiol*. 2012;17(1):47-53. <http://doi.org/10.1590/S1516-80342012000100010>.
54. Donadon C, Pinto SNFR, Couto CM, Colella-Santos MF. Questionnaire children's auditory performance scale: translation and adaptation into Brazilian Portuguese [monograph]. Campinas: Programa de Pós-Graduação

- Latu Sensus da Faculdade de Ciências Médicas, Universidade Estadual de Campinas; 2015.
55. Loo JHY, Rosen S, Bamio DE. Auditory training effects on the listening skills of children with auditory processing disorder. *Ear Hear*. 2016;37(1):38-47. <http://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000225>. PMID:26418044.
 56. Heflinger CA, Simpkins CG, Combs-Orme T. Using the CBCL to determine the clinical status of children in state custody. *Child Youth Serv Rev*. 2000;22(1):55-73. [http://doi.org/10.1016/S0190-7409\(99\)00073-0](http://doi.org/10.1016/S0190-7409(99)00073-0).
 57. Ferdinand RF. Validity of the CBCL/YSR DSM-IV scales anxiety problems and affective problems. *J Anxiety Disord*. 2008;22(1):126-34. <http://doi.org/10.1016/j.janxdis.2007.01.008>. PMID:17321103.
 58. Ayer L, Althoff R, Ivanova M, Rettew D, Waxler E, Sulman J, et al. Child Behavior Checklist Juvenile Bipolar Disorder (CBCL-JBD) and CBCL Posttraumatic Stress Problems (CBCL-PTSP) scales are measures of a single dysregulatory syndrome. *J Child Psychol Psychiatry*. 2009;50(10):1291-300. <http://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2009.02089.x>. PMID:19486226.
 59. Bolsoni-Silva AT, Silveira AMS, Cunha EV, Silva LL, Orti NP. Problemas de comportamento e funcionamento adaptativo no teacher's report form (TRF): comparações por gênero e escolaridade. *Gerais Rev. Interinst. Psicol*. 2016;9(1):141-55.
 60. Lyons-Warren AM, Wangler MF, Wan YW. Cluster analysis of short sensory profile data reveals sensory-based subgroups in autism spectrum disorder. *Int J Mol Sci*. 2022;23(21):13030. <http://doi.org/10.3390/ijms232113030>. PMID:36361815.
 61. O'Brien J, Tsermentseli S, Cummins O, Happé F, Heaton P, Spencer J. Discriminating children with autism from children with learning difficulties with an adaptation of the Short Sensory Profile. *Early Child Dev Care*. 2009;179(4):383-94. <http://doi.org/10.1080/03004430701567926>.
 62. Tomchek SD, Dunn W. Sensory processing in children with and without autism: a comparative study using the short sensory profile. *Am J Occup Ther*. 2007;61(2):190-200. <http://doi.org/10.5014/ajot.61.2.190>. PMID:17436841.
 63. Williams ZJ, Failla MD, Gotham KO, Woyonoski TG, Cascio C. Psychometric evaluation of the short sensory profile in youth with autism spectrum disorder. *J Autism Dev Disord*. 2018;48(12):4231-49. <http://doi.org/10.1007/s10803-018-3678-7>. PMID:30019274.
 64. Hellhammer DH, Wüst S, Kudielka BM. Salivary cortisol as a biomarker in stress research. *Psychoneuroendocrinology*. 2009;34(2):163-71. <http://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2008.10.026>. PMID:19095358.
 65. Fiorezi JN, Franke SIR, Prá D, Garcia EL, Renner JDP. Os efeitos da música em biomarcadores de estresse, imunológicos e comportamentais em portadores do espectro autista. *Cinergis*. 2017;18:367. <http://doi.org/10.17058/cinergis.v18i0.11174>.
 66. Tordjman S, Anderson GM, Kermarrec S, Bonnot O, Geoffray MM, Brailly-Tabard S, et al. Altered circadian patterns of salivary cortisol in low-functioning children and adolescents with autism. *Psychoneuroendocrinology*. 2014;50:227-45. <http://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2014.08.010>. PMID:25244637.
 67. Ogawa S, Lee YA, Yamaguchi Y, Shibata Y, Goto Y. Associations of acute and chronic stress hormones with cognitive functions in autism spectrum disorder. *Neuroscience*. 2017;343:229-39. <http://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2016.12.003>. PMID:27956063.
 68. Corbett BA, Simon D. Adolescence, stress and cortisol in autism spectrum disorders. *OA Autism*. 2014;1(1):2. PMID:24665363.
 69. Trejos-Herrera AM, Bahamón MJ, Alarcón-Vásquez Y, Vélez JI, Vinaccia S. Validity and reliability of the multidimensional scale of perceived social support in colombian adolescents. *Interv Psicosoc*. 2018;27(1):56-63. <http://doi.org/10.5093/pi2018a1>.
 70. Themis L, Lippus P, Padrik M, Kask L, Kreegipuu K. Maturation of the mismatch response in pre-school children: systematic literature review and meta-analysis. *Neurosci Biobehav Rev*. 2023;153:105366. <http://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2023.105366>. PMID:37633625.
 71. Uhler KM, Hunter SK, Tierney E, Gilley PM. The relationship between mismatch response and the acoustic change complex in normal hearing infants. *Clin Neurophysiol*. 2018;129(6):1148-60. <http://doi.org/10.1016/j.clinph.2018.02.132>. PMID:29635099.
 72. ASHA: American Speech-language-hearing Association. Central auditory processing disorder [Internet]. 2005 [citado em 2023 Set 10]. Disponível em: https://www.asha.org/practice-portal/clinical-topics/central-auditory-processing-disorder/#collapse_7

Author contributions

BSBV: conceptualization of the study, data analysis and interpretation, article writing; KMGS: data analysis; ADSNA: conceptualization of the study, data analysis and Interpretation, article writing, study sub-coordinator; JSB: interpretation and review of the article; RTSJ: interpretation and review of the article; KVM: interpretation and review of the manuscript; SAB: advisor, conceptualization of the study and study coordinator, writing and revising the article.

APPENDIX 1. DATABASE SEARCH STRATEGY

Database	Search (16th March 2023)
Embase	("Autism Spectrum Disorder" OR "Autism Spectrum Disorders" OR "Autistic Spectrum Disorder" OR "Autistic Spectrum Disorders" OR "Autistic Disorder" OR "Infantile Autism" OR "Autism" OR "Early Infantile Autism") AND ("Sensory Aids" OR "Sensory Aid" OR "Self-Help Devices" OR "Self Help Devices" OR "Remote Microphone Systems" OR "Microphone System" OR "remote microphone technology" OR "Remote Microphone System" OR "FM system" OR "frequency modulation system")
LILACS	("Tecnologia Assistiva" OR "Dispositivos de Autoayuda" OR "Dispositivos Asistivos" OR "Dispositivos de Autoajuda" OR "Equipamentos Assistivos" OR "Equipamentos de Autoajuda" OR "Sistema de frequência modulada" OR "Sistema FM" OR "Microfone Remoto" OR "Assistive Technology" OR "Self-Help Devices" OR "Remote Microphone Systems" OR "Microphone System" OR "remote microphone technology" OR "Remote Microphone System" OR "FM system" OR "frequency modulation system" OR "remoto de micrófono" OR "sistema de frecuencia modulada" OR "tecnología de asistencia") AND (("Transtorno Autístico" OR "Autismo" OR "Autismo Infantil" OR "Síndrome de Kanner" OR "Transtorno do Espectro Autista" OR "Autism Spectrum Disorder" OR "Kanner's Syndrome" OR "Infantile Autism" OR "Autistic Disorder" OR "Transtorno del Espectro Autista"))
PubMed	("Autism Spectrum Disorder"[Mesh Terms] OR "Autism Spectrum Disorder" OR "Autism Spectrum Disorders" OR "Autistic Spectrum Disorder" OR "Autistic Spectrum Disorders" OR "Autistic Disorder" [Mesh Terms] OR "Autistic Disorder" OR "Kanner's Syndrome" OR "Kanner Syndrome" OR "Infantile Autism" OR "Autism" OR "Early Infantile Autism") AND ("Sensory Aids" [MeSH Terms] OR "Sensory Aids" OR "Sensory Aid" OR "Self-Help Devices" [MeSH Terms] OR "Self-Help Devices" OR "Self Help Devices" OR "Self-Help Device" OR "Remote Microphone Systems" OR "Microphone System" OR "remote microphone technology" OR "Remote Microphone System" OR "FM system" OR "frequency modulation system")
Scopus	("Autism Spectrum Disorder" OR "Autism Spectrum Disorders" OR "Autistic Spectrum Disorder" OR "Autistic Spectrum Disorders" OR "Autistic Disorder" OR "Kanner's Syndrome" OR "Kanner Syndrome" OR "Infantile Autism" OR "Autism" OR "Early Infantile Autism") AND ("Sensory Aids" OR "Sensory Aid" OR "Self-Help Devices" OR "Self Help Devices" OR "Self-Help Device" OR "Remote Microphone Systems" OR "Microphone System" OR "remote microphone technology" OR "Remote Microphone System" OR "FM system" OR "frequency modulation system")
Web of Science	("Autism Spectrum Disorder" OR "Autism Spectrum Disorders" OR "Autistic Spectrum Disorder" OR "Autistic Spectrum Disorders" OR "Autistic Disorder" OR "Kanner's Syndrome" OR "Kanner Syndrome" OR "Infantile Autism" OR "Autism" OR "Early Infantile Autism") AND ("Sensory Aids" OR "Sensory Aids" OR "Sensory Aid" OR "Self Help Devices" OR "Self-Help Device" OR "Remote Microphone Systems" OR "Microphone System" OR "remote microphone technology" OR "Remote Microphone System" OR "FM system" OR "frequency modulation system")
Google Scholar	("Autism" OR "Autism Spectrum Disorder" OR "Autistic Disorder") AND ("remote microphone system" OR "frequency modulation system" OR "sensory aids")
ProQuest	("Autism Spectrum Disorder" OR "Autism Spectrum Disorder" OR "Autism Spectrum Disorders" OR "Autistic Spectrum Disorder" OR "Autistic Spectrum Disorders" OR "Autistic Disorder" OR "Autistic Disorder" OR "Kanner's Syndrome" OR "Kanner Syndrome" OR "Infantile Autism" OR "Autism" OR "Early Infantile Autism") AND ("Sensory Aids" OR "Sensory Aids" OR "Sensory Aid" OR "Self-Help Devices" OR "Self-Help Devices" OR "Self Help Devices" OR "Self-Help Device" OR "Remote Microphone Systems" OR "Microphone System" OR "remote microphone technology" OR "Remote Microphone System" OR "FM system" OR "frequency modulation system")

APPENDIX 2. REASON FOR EXCLUSION CRITERIA

Author, Year	Reason for exclusion
Dunn A, James P, Pelosi A, Sorensen E, Oleson J; 2021	1
Feldman JI, Thompson E, Davis H, Keceli-Kaysili B, Dunham K, Woynaroski T. et al.; 2022	2
Hess KL, Morrier MJ, Heflin, Heflin LJ, Ivey ML; 2008	3
Rance G; 2013	3
Schafer, E C; Gopal, K V; Mathews, L; Thompson, S; Kaiser, K; McCullough, S; Jones, J; Castillo, P; Canale, E; Hutcheson, A; 2019	2
Teleaudiology Today, 2022	3
Westby, C, 2014	3

1) Non-intervention studies; 2) Studies with adults/elderly people; 3) reviews, opinion articles, posters, letters, and conference abstracts.

References

1. Dunn A, James P, Pelosi A, Sorensen E, Oleson J. Managing listening difficulties in patients with ASD and normal hearing sensitivity. *Hearing Review*. 2021.
2. Feldman JI, Thompson E, Davis H, Keceli-Kaysili B, Dunham K, Woynaroski T et al. Remote microphone systems can improve listening-in-noise accuracy and listening effort for youth with autism. *Ear Hear*. 2022;43⁽²⁾:436-447.
3. Hess KL, Morrier MJ, Heflin, Heflin LJ, Ivey ML. Autism treatment survey: services received by children with autism spectrum disorders in public school classrooms. *J Autism Dev Disord*. 2008;38:961-971.
4. Rance G. In autism study, FM system enhances listening, attention, and behavior. *Journal club*. 2013;66(7)4-5.
5. Schafer EC, Gopa KV, Mathews L, Thompson S, Kaiser K, McCullough S et al. Effects of auditory training and remote microphone technology on the behavioral performance of children and young adults who have autism spectrum disorder. *J Am Acad Audiol*. 2019;30:431-443.
6. Teleaudiology today [internet]. Can Remote Microphone Systems Improve Listening-in-noise Accuracy in Children with Autism? *The Hearing Journal*. 2022;75⁽³⁾:10. [cited 2023 nov 15]. available from: https://journals.lww.com/thehearingjournal/Fulltext/2022/03000/Can_Remote_Microphone_Systems_Improve.7.aspx
7. Westby, C. FM; 2014. Systems with students with autism spectrum disorders or attention deficit hyperactivity disorder. [cited 2023 nov 15] [about 1 screens] Available from: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1048395014527568b>.

Bianca Stephany Barbosa Vital^{1,2,3,4} 
Karen Melissa Gonzaga dos Santos⁴ 
Aryelly Dayane da Silva Nunes Araújo^{1,2,3,4,5} 
Joseli Soares Brazorotto^{1,2,3,4,5} 
Regina Tangerino de Souza Jacob⁶ 
Karinna Veríssimo Meira Taveira^{1,2,3,7} 
Sheila Andreoli Balen^{1,2,3,4,5} 

Descritores

Transtorno do Espectro Autista
Microfone Remoto
Percepção Auditiva
Crianças
Adolescentes

Keywords

Autism Spectrum Disorder
Remote Microphone
Auditory Perception
Children
Teens

Endereço para correspondência:

Sheila Andreoli Balen
Departamento de Fonoaudiologia,
Universidade Federal do Rio Grande
do Norte – UFRN
Rua Gen. Gustavo Cordeiro de Faria,
601, Ribeira, Natal (RN), Brasil, CEP:
59012-570.
E-mail: sheila.balen@ufrn.br

Recebido em: Dezembro 19, 2023
Aceito em: Julho 15, 2024

Sistemas de microfone remoto em crianças e adolescentes com transtorno do espectro autista: revisão de escopo

Remote microphone systems in children and adolescents with autism spectrum disorders: a scoping review

RESUMO

Objetivo: Mapear a literatura acerca do uso do Sistema de Microfone Remoto (SMR) em crianças e adolescentes com Transtorno do Espectro Autista (TEA). **Método:** Revisão de Escopo com recomendações do Instituto Joanna Briggs e do checklist PRISMA-ScR. Foi realizada busca nas bases de dados: Pubmed, Embase, Scopus, Web of Science, Lilacs e na literatura cinzenta Google Scholar e ProQuest, além de listas de referências dos estudos incluídos e consulta a experts. Foram incluídos estudos de intervenção, com crianças e adolescentes com TEA que fizeram uso do SMR, sem restrição de gênero, idioma, idade, tempo de publicação, etnia ou localização geográfica. **Resultados:** Foram identificados 709 estudos na fase 1. Após a leitura de 14 textos completos com elegibilidade, oito estudos foram elegíveis. Os estudos foram heterogêneos quanto ao modelo do SMR (individual ou em campo), dos testes aplicados, período e local de intervenção. Constatou-se favorecimento da percepção de fala com melhora na interação social, comportamento, atenção e memória auditiva, tolerância ao ruído e redução do estresse, além de modificação na atividade neural a partir da avaliação eletrofisiológica. **Conclusão:** O uso do SMR apresentou benefícios na percepção de fala, interação social e comportamento de adolescentes e crianças com TEA. Há necessidade de mais estudos para definir protocolos e parâmetros de indicação nesta população.

ABSTRACT

Purpose: To map the literature on the use of the Remote Microphone System (RMS) in children and adolescents with Autism Spectrum Disorder (ASD). **Methods:** Scoping Review following the Joanna Briggs Institute recommendations and PRISMA-ScR checklist. Search was carried out in the databases: PubMed, Embase, Scopus, Web of Science, Lilacs, and gray literature, including Google Scholar and ProQuest, as well as reference lists of included studies and expert consultations. Intervention studies with children and adolescents with ASD using RMS were included, without gender, language, age, publication time, ethnicity, or geographical location restrictions. **Results:** 709 studies were identified in phase 1. After reviewing 14 full texts with eligibility, eight studies were eligible. Studies were heterogeneous in the RMS model (personal or free field), applied tests, intervention period, and location. Improvement in speech perception, social interaction, behavior, attention, auditory memory, noise tolerance, stress reduction, and modification in neural activity through electrophysiological evaluation were observed. **Conclusion:** Using RMS demonstrated benefits in speech perception, social interaction, and behavior in adolescents and children with ASD. Further studies are needed to define protocols and indication parameters in this population.

Trabalho realizado na Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN - Natal (RN), Brasil.

¹Programa Associado de Pós-graduação em Fonoaudiologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN - Natal (RN), Brasil.

²Universidade Federal da Paraíba – UFPB - João Pessoa (PB), Brasil,

³Universidade Estadual de Ciências da Saúde de Alagoas – UNCISAL - Maceió (AL), Brasil.

⁴Laboratório de Inovação Tecnológica em Saúde – LAIS, Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN - Natal (RN), Brasil.

⁵Departamento de Fonoaudiologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN - Natal (RN), Brasil.

⁶Departamento de Fonoaudiologia, Faculdade de Odontologia de Bauru – FOB, Universidade de São Paulo – USP - Bauru (SP), Brasil.

⁷Departamento de Morfologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN - Natal (RN), Brasil.

Fonte de financiamento: nada a declarar.

Conflito de interesses: nada a declarar.



Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

INTRODUÇÃO

Nas salas de aula ocorrem ruídos ambientais das mais diversas formas, como as conversas entre os alunos, a movimentação de cadeiras e mesas, o amassar das folhas de caderno, os sons do ventilador e do ar-condicionado, do corredor e da rua, pela janela, dentre tantos outros ruídos que podem dificultar o acesso à fala do professor⁽¹⁾.

Inseridas no contexto escolar encontram-se crianças com Transtorno do Espectro Autista (TEA). O TEA é um transtorno do neurodesenvolvimento com crescente prevalência e que ocorre de forma heterogênea, sendo caracterizado pelas dificuldades na comunicação social, comportamentos repetitivos, foco de interesse e alterações sensoriais⁽²⁾.

Estas crianças podem apresentar dificuldades persistentes na comunicação e na interação social, como também padrões de comportamentos restritos e repetitivos (sejam comportamentais ou de interesses/atividades). Intervenções para que estas crianças e adolescentes desenvolvam suas habilidades e potencialidades, seja no ambiente escolar, familiar ou social são fundamentais⁽²⁾.

Pesquisas estão sendo realizadas em escolares com TEA e o uso do sistema de microfone remoto (SMR) por apresentarem “*listening difficulties*”. Estudos^(3,4) demonstraram potenciais benefícios quando realizada intervenção com sistema de microfone remoto em crianças e jovens adultos^(3,4) com benefício na percepção de fala no ambiente escolar pós intervenção. O SMR é uma tecnologia assistiva amplamente estudada e indicada em outras populações, principalmente para indivíduos com deficiência auditiva (DA)⁽⁵⁻⁷⁾ e com transtorno do processamento auditivo central⁽⁸⁻¹⁰⁾.

O termo SMR compreende tecnologias que apresentam como forma de transmissão o sinal digital e a frequência modulada (FM)⁽¹¹⁾, e seu uso pode ser pessoal ou em campo. O primeiro é um aparelho composto por um transmissor que capta o sinal acústico do falante principal (professor) e transmite por sinal digital para o ouvinte (aluno) que está fazendo uso de um receptor na orelha. Este sinal acústico chega ao ouvinte com redução do ruído e com melhor sinal acústico, sendo este de uso individual⁽¹¹⁾.

Já no SMR em campo, o intuito é o uso coletivo, onde a voz do falante principal é amplificada e transmitida por uma caixa de som em campo para um maior número de pessoas, como os estudantes de uma sala de aula⁽¹²⁾. A Sociedade de Audiologia da Austrália⁽¹³⁾ ressaltou a importância dos audiologistas na intervenção de crianças com TEA recomendando o SMR em diversos ambientes.

Diante deste panorama, o objetivo dessa revisão de escopo foi mapear os estudos sobre o uso do SMR em crianças e adolescentes com TEA.

MÉTODO

Protocolo e Registro

Este estudo trata de uma revisão de escopo seguindo as diretrizes metodológicas do Instituto Joanna Briggs (JBI) e recomendações do checklist PRISMA-ScR (*Preferred Report items for systematic reviews and Meta-analyses extension of Scoping Reviews*, 2018). Esse tipo de estudo utiliza uma abordagem sistemática para promover uma síntese do conhecimento,

identificando os principais conceitos, teorias, fontes e lacunas do conhecimento⁽¹⁴⁾. O protocolo de pesquisa do presente estudo foi submetido para avaliação e registro na plataforma Open Science Framework (OSF), DOI: 10.17605/OSF.IO/Q4GBF.

Critério de Elegibilidade

Utilizou-se o acrônimo “PCC”, para elencar os estudos elegíveis para esta revisão: P = População (crianças e adolescentes com diagnóstico de TEA); C = Conceito (Evidências pós intervenção com Microfone Remoto em crianças e adolescentes com TEA); C = Contexto (uso do SMR).

Critérios de Inclusão

Estudos que avaliam o uso do SMR em crianças e adolescentes com TEA sem restrição a gênero, idioma, idade, tempo de publicação, etnia ou localização geográfica.

Critérios de exclusão

Os seguintes critérios de exclusão foram realizados: participantes com perda auditiva, estudos sem pré e/ou pós intervenção com SMR; estudos com outros desenhos que não de intervenção; estudos com crianças e adolescentes sem diagnóstico de TEA; estudos com adultos e/ou idosos; tipos de publicações como revisões sistemáticas, meta-análises, livros, *guidelines*, *websites*, blogs.

Busca na literatura

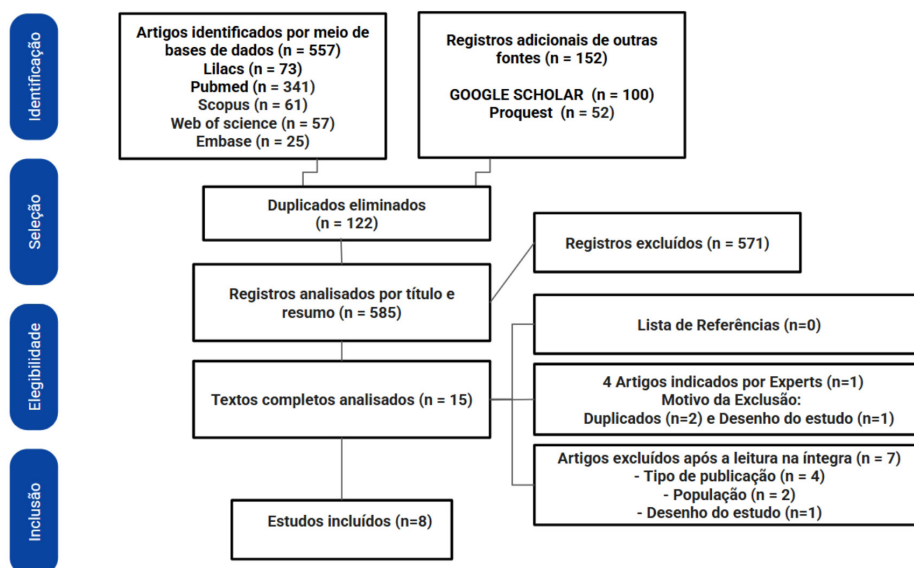
A estratégia de busca foi realizada, primeiramente no Pubmed, sendo adaptada para as demais bases utilizadas nesta revisão: Embase, Scopus, Web of Science, Lilacs, Google Scholar e ProQuest, no dia 16 de março de 2023 (Apêndice 1).

Após a busca em cada base de dados foi feita a exportação dos resultados para o *Software Mendeley*, quando foram identificados os artigos duplicados. A partir deste ponto o arquivo foi, então, salvo e exportado para o *website Rayyan* (<https://www.rayyan.ai/>), onde foi realizada novamente checagem de duplicados e início da leitura de título e resumo por dois revisores independentes.

Seleção dos estudos

A seleção dos estudos ocorreu em duas fases. Na primeira fase dois revisores analisaram de forma independente o título e resumo a partir dos critérios de elegibilidade. Essa etapa foi realizada no *website Rayyan*. Na segunda fase, foi realizada a leitura dos textos completos pelos mesmos revisores de forma independente. Nas duas fases foi realizada reunião de consenso antes de finalizar a etapa. Quando não houve consenso entre os R1 e R2 quanto a inclusão/exclusão de um ou mais estudos, o terceiro revisor fez a análise para tomada de decisão (Apêndice 2).

As listas de referências dos estudos incluídos na fase 2 foram analisadas, assim como foram consultados três *experts* da área, para identificação de estudos que possam não ter sido recuperados na busca inicial. Estes *experts* foram contactados por serem pesquisadores doutores com estudos publicados na temática apresentada nesta revisão provenientes de países diferentes como



Fonte: Adaptação Prisma-ScR pela autora

Figura 1. Diagrama de fluxo conforme diretrizes do PRISMA-ScR (adaptado)

Austrália, Nova Zelândia e Estados Unidos. Estes experts eram autores de estudos já identificados na busca na base de dados, sendo que dos quatro artigos indicados por eles somente um foi incluído, visto que dois eram duplicados e um não tinha os critérios de desenho do estudo conforme pode ser visualizado na Figura 1.

Análise e extração dos dados

Foram extraídos os dados do estudo como autor, ano de publicação, país, objetivo, amostra, idade, instrumento de diagnóstico do TEA, nível de linguagem, acuidade audiológica pré intervenção, questionários/protocolos (pré e pós intervenção), tecnologia assistiva, processo de intervenção e principais desfechos.

Todos os dados relacionados à revisão de escopo foram extraídos e mapeados, sendo realizada uma síntese qualitativa.

RESULTADOS

Seleção dos estudos

A seleção dos estudos ocorreu conforme apresentado na Figura 1. Um total de 709 estudos foram recuperados nas bases eletrônicas, sendo 557 da base de dados e 152 da literatura cinzenta. Após inserção no software Mendeley permaneceram 585 estudos após serem retiradas as duplicatas que seguiram para análise do título e resumo no software Rayyan. Seguindo os critérios de elegibilidade, 571 artigos foram excluídos, seguindo 14 e um foi inserido por indicação de expert, seguindo ao todo 15 artigos para a leitura completa na fase 2. Destes, 7 estudos foram excluídos e 8 foram incluídos na síntese qualitativa e mapeamento dos resultados (Figura 1).

Características dos estudos e da amostra

Os estudos incluídos foram publicados entre 2013 e 2021, cinco deles nos Estados Unidos da América⁽¹⁵⁻¹⁹⁾, dois na

Austrália^(20,21) e um na Nova Zelândia⁽²²⁾ os grupos de pesquisa observam-se quatro vertentes com estudos de Schafer et al.⁽¹⁵⁻¹⁷⁾, Rance et al.^(20,21), Keller et al.⁽¹⁸⁾, Keller⁽¹⁹⁾ e Leung et al.⁽²²⁾.

Entre os oito estudos incluídos, seis^(15-19,22) realizaram intervenção com número amostral entre 8 e 14 sujeitos. Os estudos do grupo da Austrália^(20,21) apresentaram o maior número amostral - 20 e 26 participantes (Tabela 1). E em seis estudos, foram relatadas comorbidades associadas ao TEA^(15,16,18,19,21,22).

Quanto à faixa-etária dos participantes com TEA nos estudos, apenas um⁽¹⁸⁾ envolveu pré-escolares entre 3 e 4 anos. Dentre os demais estudos, três foram realizados com crianças maiores, com faixa-etária entre de 7 a 13 anos^(15,16,22), e em quatro estudos a intervenção foi realizada em crianças e adolescentes com idades de 4 a 17 anos^(17,19-21). Apenas um estudo⁽²¹⁾ apresentou dois grupos divididos por idade, sendo um com crianças de 6 a 12 anos e um dos 13 a 16 anos.

Foi constatado como critério de inclusão para realização da intervenção o diagnóstico de TEA ratificado. Em quatro estudos⁽¹⁸⁻²²⁾ o diagnóstico foi confirmado pelos pesquisadores ou equipe multidisciplinar através de instrumentos como ADOS-2, *Autism Diagnostic Interview*, *Childhood Autism Rating Scale*, ASEBA, CARS-2 em que eles tinham acesso aos relatórios das avaliações.

Em três estudos a confirmação do diagnóstico foi atestada através de relato de pais e/ou escola (que disponibilizaram os relatórios)⁽¹⁵⁻¹⁷⁾, e em um estudo⁽¹⁵⁾ os relatórios não foram disponibilizados aos pesquisadores.

O desenvolvimento linguístico dos sujeitos não foi caracterizado pelos autores, havendo heterogeneidade nas características linguísticas referidas destas crianças e adolescentes, contudo ficou claro que todos os sujeitos eram verbais. Dois estudos^(18,19) usaram o termo “autismo minimamente verbal” (MVA) para descrever a linguagem de seus participantes que tinham palavras únicas e ecolalias. No primeiro estudo foi realizada avaliação prévia com protocolo *Mullen Scales of Early Learning* (MSEL)

para identificação de atrasos/dificuldades na linguagem, e o segundo estudo definiu a classificação pelo módulo 1 do teste *Autism Diagnostic Observation Schedule* (ADOS-2).

Em outro estudo⁽¹⁷⁾ os participantes foram classificados com habilidades verbais após serem categorizados pelos examinadores do estudo em cinco categorias, sendo elas⁽¹⁾ ecolalias e poucas palavras espontâneas⁽²⁾, uma a três palavras espontâneas⁽³⁾, produz sentença com quatro ou mais palavras⁽⁴⁾, produz duas ou três frases e⁽⁵⁾ são conversacionais. Nos estudos de Rance et al.^(20,21) todos os participantes da intervenção podiam falar, entender e seguir instruções verbais. Nos estudos de Schafer et al.^(15,16) foi possível inferir que as crianças eram verbais, a partir da aplicação do teste BKB-SIN para avaliar a habilidade de reconhecimento de fala no ruído. No estudo de Leung et al.⁽²²⁾ todos os sujeitos apresentavam autismo de alto funcionamento, o que infere que as crianças eram verbais.

A acuidade auditiva foi previamente avaliada nos participantes (Tabela 1). Apenas um estudo⁽²⁰⁾ não referiu avaliação, mas deixou implícito que os participantes tinham acuidade auditiva dentro dos padrões de normalidade. Um estudo considerou como audição normal o relato dos responsáveis ou registros médicos⁽¹⁹⁾; outro referiu análise retrospectiva de prontuário sobre a acuidade auditiva de ao menos uma das orelhas, destacando que foram realizadas medidas em campo livre apenas aos participantes que não aceitaram o uso de fones de ouvido⁽¹⁸⁾.

Os estudos de Shafer et al.⁽¹⁵⁻¹⁷⁾ e de Rance et al.⁽²¹⁾ apresentaram como critério de inclusão em seus estudos: a realização da triagem auditiva nos seis meses anteriores (nas frequências de 1, 2, 4 kHz em até 25 dB); avaliação auditiva dentro dos padrões de normalidade (250 a 6000 Hz com limiares inferiores a 20dB ou presença das Emissões Otoacústicas Evocadas Transientes - EOAT); avaliação auditiva de 250 a 8000 kHz ou presença das Emissões Otoacústicas Evocadas por Produto de Distorção (EOAPD); e a pesquisa de limiar em 250 a 4000 kHz respectivamente, para confirmar que as crianças e adolescentes dos estudos não apresentavam alteração auditiva. No estudo de Leung et al.⁽²²⁾ a audição dos participantes foi avaliada com triagem auditiva com EOAPD.

Questionários e protocolos pré e pós intervenção

Todos os autores utilizaram instrumentos pré e pós intervenção para avaliar o processo da intervenção com SMR. Foi observada variedade de funções/habilidades avaliadas, em consequência dos diferentes instrumentos aplicados. Foram aplicados protocolos de reconhecimento auditivo⁽¹⁵⁻²¹⁾, questionários para avaliar: funções/habilidades auditivas^(15-17,20,21) funções cognitivas-linguísticas⁽¹⁷⁾, habilidades comportamentais^(15,21) e perfil sensorial⁽¹⁷⁾.

Houve um estudo que avaliou o nível de estresse⁽²¹⁾, e outro que verificou o nível de ruído aceitável⁽¹⁷⁾. Também foi avaliada a percepção social e o potencial evocado auditivo cortical⁽²²⁾. Desta forma, questionários pré e/ou pós avaliação foram aplicados, mas foram heterogêneos (Quadro 1).

Tecnologia Assistiva

A tecnologia assistiva de SMR pessoal foi usada em cinco estudos^(15-17,20,22) e dois estudos utilizaram o SMR em campo livre (Phonak Roger Digimaster 5000)^(18,19). Entretanto, um estudo utilizou parte da amostra com sistema pessoal (Phonak Roger Focus com transmissor Roger Inspiro-FM) e parte com sistema em campo livre Phonak Roger Digimaster 5000⁽²¹⁾.

Os modelos foram diferentes entre os estudos, e destacam-se que quatro deles ainda utilizaram a tecnologia de sistema de frequência modulada^(15,16,20,21). Um estudo não referiu o modelo do SMR usado⁽²²⁾.

Processo de intervenção

A intervenção apresentou características distintas em cada estudo, seja o ambiente, tempo diário, dias de intervenção e duração em semanas (Figura 2). A descrição do processo de intervenção é variável entre os estudos, sendo que dois deles alternaram o uso do SMR ligado e desligado no processo interventivo^(18,19).

No estudo de Keller et al.⁽¹⁸⁾ não houve referência quanto à duração da sessão. Nos estudos de Schafer et al e Schafer et al.^(16,17)

Tabela 1. Caracterização da amostra, confirmação do diagnóstico de TEA, modalidade de linguagem expressiva e acuidade audiológica

Autor/ano/local	Amostra (n)	Idade (anos)	Diagnóstico de TEA	Status da Linguagem	Status Audiológico
Keller et al. ⁽¹⁸⁾ (2021), Estados Unidos da América	8	3-4	Pesquisadores e/ou equipe multidisciplinar	Verbal	Audição normal
Keller ⁽¹⁹⁾ (2021), Estados Unidos da América	14	4-16	Pesquisadores ou equipe multidisciplinar	Verbal	Audição normal
Rance et al. ⁽²⁰⁾ (2014), Austrália	20	8-15	Pesquisadores e/ou equipe multidisciplinar	Verbal	Audição normal
Rance et al. ⁽²¹⁾ (2017), Austrália	26	6-16	Equipe multidisciplinar	Verbal	Audição normal
Schafer et al. ⁽¹⁵⁾ (2013), Estados Unidos da América	7	9-11	Pais e confirmado pela administração da escola	Verbal	Audição normal
Schafer et al. ⁽¹⁶⁾ (2014), Estados Unidos da América	4	9-10	Informado pelos pais e confirmado pelos profissionais especializados	Verbal	Audição normal
Schafer et al. ⁽¹⁷⁾ (2016), Estados Unidos da América	12	6-17	Realizado por profissionais e relatado pelos pais	Verbal	Audição normal
Leung et al. ⁽²²⁾ (2021), Nova Zelândia	12	7-13	Pesquisadores ou equipe multidisciplinar	Verbal	Audição normal

Fonte: Próprio autor

Quadro 1. Questionários e protocolos encontrados nos estudos

RECONHECIMENTO AUDITIVO	FUNÇÕES HABILIDADES AUDITIVAS	COMPORTAMENTAIS	PERFIL SENSORIAL	OUTROS PROTOCOLOS
Teste de reconhecimento de frases	APHAB	TRF	SSP	ANL
BKB-SIN	S.I.F.T.E.R	CBCL		Nível de estresse
LTC-2	CHAPS	Caracterização comportamental		Teste de processamento auditivo temporal
CNC	LIFE-R			Percepção Social
	CHILD			PEAC

Legendas: BKB-SIN: *Bamford-Kowal-Bench Speech-in-Noise Test*⁽¹⁵⁻¹⁷⁾; LTC-2: *The Listening Comprehension Test*⁽¹⁶⁾; CNC: *Consonant-Núcleos-Consonant-Word*^(20,21); APHAB: *Abbreviated Profile of Hearing Aid Benefit*^(20,21); S.I.F.T.E.R: *Supporting Success For Children With Hearing Loss*⁽¹⁵⁾; CHAPS: *Children's Auditory Performance Scale*⁽¹⁵⁻¹⁷⁾; LIFE-R: *Listening Inventory For Education - Revised*^(15,16); CHILD: *Children's Home Inventory for Listening Difficulties*^(15,16); TRF - *Teacher's Report* (Formulário de Relatório não Referido)⁽²¹⁾; CBCL: *Child Behavior Checklist*⁽²¹⁾; SSP: *Short Sensory Profile*⁽¹⁷⁾; ANL: *Acceptable Noise Level test*⁽¹⁷⁾; PEAC: *Potencial Evocado Auditivo Cortical*⁽²²⁾.

Fonte: Próprio Autor

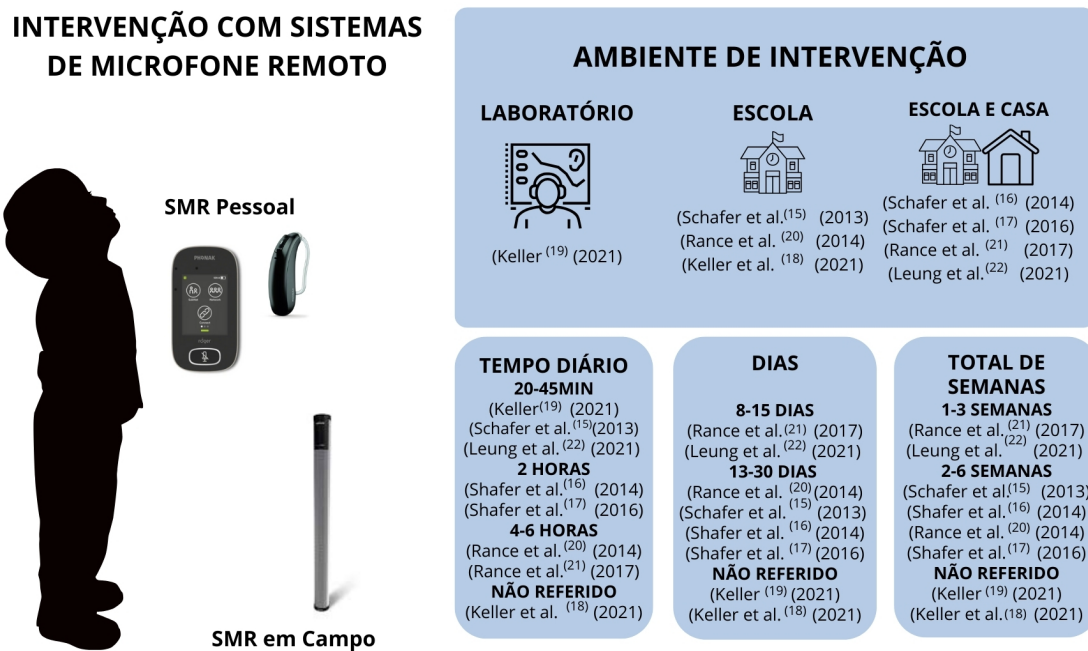


Figura 2. Processo de intervenção com sistemas de microfone remoto

a intervenção ocorria durante 2 horas. Nos estudos de Rance et al.^(20,21) a duração da sessão foi de 4 a 6 horas de uso da tecnologia, havendo no segundo estudo duas sessões de aclimatização de 20 minutos por dois dias consecutivos.

O estudo de Keller⁽¹⁹⁾ incluiu três condições de uso do SMR, com 30 minutos de uso por condição. No estudo de Schafer et al.⁽¹⁵⁾ o uso da tecnologia foi de 45 minutos, com período de aclimatização de 15 a 20 minutos por dia durante uma semana.

Dois estudos não referiram o tempo de intervenção em dias^(18,19). O estudo de Rance et al.⁽²⁰⁾ ocorreu nos cinco dias da semana, e no estudo de Rance et al.⁽²¹⁾ o período de intervenção foi de 8 a 10 dias. No estudo de Schafer et al.⁽¹⁵⁾ a intervenção ocorreu por 27 dias, incluindo os períodos com o SMR ligado (8 dias), SMR desligado (6 dias) e depois SMR novamente ligado (13 dias). No estudo de Schafer et al.⁽¹⁶⁾ foram entre 20 a 30 dias, período de dias similar ao estudo de Schafer et al.⁽¹⁷⁾,

que foi em média de 30 dias. No estudo de Leung et al.⁽²²⁾ o período foi de nove dias de treinamento auditivo em computador com duração de 20 a 30min, fazendo uso do SMR durante as sessões, e na escola por 15 dias (Figura 2).

No que se refere ao local da intervenção, sete estudos incluíram o ambiente escolar^(15-18,20-22), e destes, quatro realizaram a intervenção em casa concomitantemente^(16,17,21,22). O único estudo apenas em Laboratório, que não realizou a intervenção em ambiente escolar⁽¹⁹⁾, aplicou um ruído de fundo para simular o ruído escolar típico. Dois estudos filmaram todas as sessões de intervenção para análise dos comportamentos dos sujeitos^(18,19). No entanto, nos estudos incluídos não há detalhamento homogêneo das características físicas e acústicas dos ambientes (dimensões, revestimento, mobiliário), dois estudos referiram o controle do ruído de fundo^(18,21) durante a intervenção – inferior a 65 e 45 dB, respectivamente. O detalhamento da atividade pedagógica quando foi envolvido o ambiente escolar também

Tabela 2. Objetivos e desfechos dos estudos da revisão de escopo

Autor/ano/local	Objetivo	Desfecho
Keller et al. ⁽¹⁸⁾ (2021), Estados Unidos da América	Verificar a eficácia do uso do SMR no desempenho de escuta funcional de pré-escolares com TEA e transtornos de linguagem	Observado melhor desempenho da escuta funcional das crianças e redução do tempo de resposta diante de comando verbal.
Keller ⁽¹⁹⁾ (2021), Estados Unidos da América	Examinar os efeitos do uso do sistema SMR nas dificuldades de escuta em crianças com TEA e transtorno de linguagem grave	Melhora no desempenho auditivo de crianças com TEA minimamente verbais com SMR.
Rance et al. ⁽²⁰⁾ (2014), Austrália	Avaliar as habilidades de processamento mono e binaural em crianças com TEA	O Sistema FM demonstrou claros benefícios na audição e comunicação das crianças com TEA. Houve melhora na percepção de fala no ruído, na interação social e nos comportamentos em sala de aula.
Rance et al. ⁽²¹⁾ (2017), Austrália	Avaliar o efeito da intervenção auditiva na resposta ao estresse em crianças escolares com TEA.	Melhora na percepção da fala em condições de escuta cotidiana (ruidosa), com melhor interação, e redução do estresse relacionado à audição.
Schafer et al. ⁽¹⁵⁾ (2013), Estados Unidos da América	Verificar o benefício do Sistema FM em crianças com TEA e TDAH por meio de medidas de desempenho e reconhecimento de fala no ruído, e no comportamento observado em sala de aula;	Melhora no reconhecimento de fala no ruído e no comportamento durante as tarefas em sala de aula ao fazerem uso do SMR.
Schafer et al. ⁽¹⁶⁾ (2014), Estados Unidos da América	Relatar o desempenho de reconhecimento de fala no ruído; compreensão auditiva; pelos participantes, pais e professores com MR	Melhora no reconhecimento de fala e na comunicação
Schafer et al. ⁽¹⁷⁾ (2016), Estados Unidos da América	Avaliar os potenciais benefícios do MR em crianças com TEA.	Melhora na fala no ruído, atenção, memória auditiva, tolerância ao ruído e compreensão auditiva
Leung et al. ⁽²²⁾ (2021), Nova Zelândia	Explorar os efeitos do treinamento auditivo nas habilidades de percepção social de crianças com TEA	Melhora no desempenho comportamental nas medidas da percepção social, resultado eletrofisiológico mostrou alteração na atividade neural em resposta a mudanças pós intervenção

Fonte: Próprio autor

foi heterogêneo, sendo referido em um estudo que os escolares estavam sentados com as cadeiras em círculo⁽¹⁸⁾ e em outro que havia uma atividade de grupo⁽¹⁸⁾.

Objetivos e desfechos

Os objetivos e desfechos foram similares em todos os estudos, pois propuseram-se a estudar os eventuais efeitos do uso da tecnologia de SMR em crianças e adolescentes com TEA em aspectos auditivos, conforme apresentado na Tabela 2.

DISCUSSÃO

Este estudo analisou e sintetizou oito artigos científicos, publicados em literatura internacional, com a finalidade de mapear os estudos com crianças e adolescentes com TEA que fizeram uso do SMR.

Os estudos encontrados se concentram em países desenvolvidos: EUA⁽¹⁵⁻¹⁹⁾, Austrália^(20,21) e Nova Zelândia⁽²²⁾, com maior número nos EUA. Não foi encontrado nenhum estudo brasileiro. A não inclusão de pesquisas brasileiras nesta revisão pode ser um reflexo do uso e disponibilidade da tecnologia de MR no próprio Sistema Único de Saúde (SUS). Atualmente o acesso está regulamentado para a população com Deficiência Auditiva matriculada na rede de ensino⁽²³⁾. Com os estudos escassos, não há ainda uma recomendação nacional, como há *guidelines* internacionais, para o uso do MR nessa população.

Pode-se considerar que as publicações incluídas são recentes, já que todos os estudos encontrados nesta revisão de escopo são

da última década, sendo possível inferir que o uso do SMR em sujeitos com TEA ainda está sendo pouco explorado.

Os estudos investigaram crianças e adolescentes de diferentes faixas etárias. Um estudo⁽¹⁸⁾ entrevistou apenas em crianças pequenas entre três e quatro anos, enquanto os demais estudos⁽¹⁵⁻²¹⁾ incluíram crianças de seis anos até adolescentes. A faixa etária mais ampla dos estudos reflete nas diferenças metodológicas encontradas, uma vez que cada faixa etária tem suas especificações para seleção de tecnologias assistivas e do processo interventivo, de maneira mais global. A seleção de crianças maiores, e não pré-escolares como participantes da maior parte dos estudos dessa Revisão pode ser associada ao fato do uso do SMR pessoal ser desafiador em crianças pequenas - pode causar o efeito de oclusão, ou ainda acidentes com as olivas/receptores. Outro fator limitante seria a disponibilidade de uso do SMR em campo livre, por não ser indicado em ambientes reverberantes. Nesse aspecto de caracterização do espaço ambiental em que houve a intervenção do SMR, o detalhamento é heterogêneo entre os estudos. Apesar disso, constitui um relevante aspecto a ser considerado nos ambientes de intervenção e de ensino, uma vez que o controle do ruído e reverberação contribui positivamente na acessibilidade auditiva.

As alterações sensoriais apresentadas pelas crianças com TEA, como a hipersensibilidade aos sons ou a aceitação de usar dispositivos nas orelhas, dificuldades de linguagem e comunicação ou para relatar experiências pessoais por meio verbal^(24,25), podem ter restringido o número de estudos com crianças menores de seis anos. Em pelo menos cinco estudos^(17,19-22)

os adolescentes utilizaram SMR com receptor na orelha e não apresentaram resistência ao uso.

Dois estudos incluídos utilizaram o SMR em campo livre^(18,19). No estudo de Rance et al.⁽²¹⁾, seus participantes foram divididos em dois grupos de acordo com a idade. O grupo das crianças menores (6 anos) usaram SMR de campo livre, enquanto as crianças maiores (16 anos) fizeram uso de SMR com receptor na orelha, possivelmente pelos desafios referidos anteriormente. Estudos realizados por Schafer et al.⁽³⁾ e Feldman et al.⁽⁴⁾ usaram SMR pessoal em crianças a partir de seis anos até adultos jovens, assim, estes corroboram que o uso em crianças maiores seria facilitado no processo de intervenção, como também, mostram-se mais colaborativas com o uso do SMR pessoal em qualquer ambiente de intervenção.

A confirmação do diagnóstico de TEA é fundamental para a definição da conduta terapêutica, como também a indicação de tecnologia assistiva. Na presente revisão, o instrumento/avaliação diagnóstica para o TEA não foi reportado com clareza em um artigo⁽¹⁵⁾, mas os autores referem que a população do estudo foi oriunda de um serviço, sendo possível que o diagnóstico estivesse estabelecido previamente de acordo com os critérios adotados pela instituição. Ainda assim, a confirmação desse diagnóstico no momento da pesquisa poderia ser facilmente realizada com aplicação de protocolo de diagnóstico de TEA dos sujeitos de seu estudo. Conduta semelhante a esta foi realizada em outro estudo⁽²²⁾, no qual realizaram a aplicação de protocolo CARS-2 para ratificar o diagnóstico de TEA dos participantes. Todos os outros estudos⁽¹⁶⁻²¹⁾ atestaram o diagnóstico de TEA através de instrumentos ou de acesso aos relatórios diagnósticos, mesmo quando houve relato dos pais e/ou escola sobre o diagnóstico. O nível de suporte dos sujeitos incluídos nos estudos não foi detalhado, o que não permite inferências acerca da indicação do uso do SMR na população com TEA a partir desse indicativo. A classificação do nível de suporte no TEA foi proposta no DSM-V em 2013, como os estudos incluídos eram de 2013 a 2021 é possível que a adoção destes critérios de classificação não tenha sido adotada nos estudos de anos iniciais, mas que poderiam ter agregado valor aos estudos mais recentes.

O desenvolvimento linguístico dos participantes é descrito como verbal. No entanto o nível de linguagem foi heterogêneo, havendo crianças com pouco repertório linguístico⁽¹⁷⁻¹⁹⁾, outras com maiores habilidades linguísticas^(17,20,21), e ainda aquelas que eram verbais, sem terem tido uma caracterização da linguagem^(15,16,22). A avaliação das habilidades verbais de crianças autistas é de grande relevância, pois elas apresentam, em sua maioria, dificuldades de linguagem e fala distintas em cada indivíduo^(26,27). Assim, a compreensão sobre se um indivíduo com TEA é verbal favorece a possibilidade de aplicação de questionários voltados ao participante da pesquisa referente ao uso do SMR, podendo contribuir na coleta de informações durante o uso do dispositivo, como foi realizado no estudo de Schafer et al.⁽¹⁷⁾, no qual as crianças responderam ao questionário LIFE-R. A possibilidade de mensuração mais ampla dos resultados do uso da tecnologia assistiva pode fornecer um importante suporte não só no estabelecimento de critérios de indicação do SMR, como também no monitoramento terapêutico, favorecendo os ajustes da tecnologia durante o seu uso.

No que se refere a acuidade auditiva dos participantes, em um estudo a avaliação auditiva não foi realizada⁽²⁰⁾, e em outro foi considerado apenas o relato de responsáveis⁽¹⁹⁾. Estas informações são relevantes e preocupantes, tendo em vista que mesmo perdas auditivas leves não identificadas podem gerar prejuízos tanto no desenvolvimento das habilidades auditivas, como também no processo de desenvolvimento da linguagem⁽²⁸⁾. O diagnóstico da presença ou ausência de perda auditiva periférica é fundamental, uma vez que a indicação da tecnologia assistiva requer essa informação. Assim, na ausência de informações prévias da acuidade auditiva, deve ser priorizada a realização da triagem auditiva ou avaliação audiológica⁽²⁹⁾. Todos os demais estudos^(15-17,21,22) confirmaram a audibilidade dos indivíduos, através de exames como emissões otoacústicas transientes (EOAT), emissões otoacústicas produto de distorção (EOAPD), pesquisa de limiares auditivos tonais, medidas em campo livre e/ou análise retrospectiva de prontuário. Além dessa mensuração, a verificação do próprio SMR através da medida de sua transparência, é essencial para favorecer a melhor e mais individualizada adaptação possível, embora sua aplicação não tenha sido referida nos estudos incluídos.

Durante o processo de intervenção, houve variabilidade no tempo de uso dia/sessão em minutos ou horas com SMR. Nos estudos de Schafer et al.^(16,17), Keller et al.⁽¹⁸⁾, Schafer et al.^(20,21) o tempo foi de 2 a 6 horas de intervenção por dia, enquanto que nos demais estudos esse tempo foi menor ou não referenciado^(15,19,22). É importante ressaltar que nenhum dos oito estudos referiram a confirmação do uso da tecnologia assistiva pelos professores/pais através de um acompanhamento descritivo diário de uso do SMR durante a intervenção. Esse registro seria facilitador ao acompanhamento do uso e efetividade da tecnologia, uma vez que depende do uso pelo falante principal – no caso dos estudos incluídos, professores e pais.

Entre os oito estudos, dois não referiram o tempo de intervenção^(18,19), e seis referiram de 8 a 10 dias (duas semanas) e máximo de 30 dias (6 semanas) de período de intervenção^(15-17,20-22).

Os benefícios e os critérios de indicação do SMR para a população com Deficiência Auditiva (DA) são conhecidos e bem descritos na literatura, cenário ainda não encontrado para a população com TEA. Nos estudos de Benítez-Barrera et al.^(5,6,30), foi realizada intervenção com SMR em crianças com DA durante o período de dois finais de semana, alternados com SMR e sem SMR. Tanto nos dois dias com SMR em casa por crianças com DA, como nos estudos com SMR e TEA aqui apresentados, de 8 até 30 dias de intervenção, foi possível observar benefício com a tecnologia assistiva, havendo melhora na percepção de fala em todos os estudos. Ainda assim, observando os impactos da melhora da acessibilidade auditiva e compreendendo as diferenças entre a DA e o TEA, podemos inferir que o maior tempo de intervenção beneficia o *input* auditivo através da tecnologia de SMR, pois a melhora na percepção de fala ao longo do tempo favorece o mecanismo de plasticidade auditiva⁽³¹⁾.

No que se refere ao ambiente, apenas um estudo realizou a intervenção exclusivamente em laboratório com ruído típico escolar⁽¹⁹⁾. A escola foi o principal ambiente escolhido pelos pesquisadores^(15,18,20) para o processo de intervenção, embora com limitações na descrição das atividades pedagógicas realizadas no

período de observação – contexto que pode também interferir no ruído de fundo. Nesse sentido, dois estudos referem o controle do ruído de fundo^(18,21), no entanto o detalhamento das características do ambiente em termos físicos e acústicos é limitado e não há padrão de descrição.

A intervenção ocorreu em casa e/ou na escola em quatro estudos^(16,17,21,22). O uso do SMR em ambiente domiciliar ainda é pouco estudado, provavelmente pela ausência nas evidências que favorecem a viabilidade e a eficácia em ambiente domiciliar⁽⁵⁾, que conta com mais variáveis e os pesquisadores têm menor possibilidade de controle sobre elas. No entanto, por ser um ambiente em que as crianças ficam muito tempo durante a semana, a escola além de ser um ambiente de interação e onde há distratores ambientais⁽³²⁾, torna-se o principal ambiente de intervenção e de observação do benefício do uso do SMR, com instrumentos que permitam acompanhar esse benefício.

Também é necessário que os professores estejam qualificados a novas estratégias que vão facilitar o processo de aprendizagem das crianças⁽³³⁾. No estudo de Sposito et al.⁽³⁴⁾, a falta de apoio dos professores foi citada como um desafio pelas crianças e adolescentes com DA para o uso do SMR em sala de aula.

Nas avaliações pré e pós uso do SMR nas crianças, foram aplicados diferentes instrumentos. Foi usado o teste ANL em um estudo⁽¹⁷⁾ para observar o nível de ruído que era aceitável com ou sem o uso do SMR. O estudo de Koiek et al.⁽³⁵⁾, também aplicou o ANL em 93 crianças de ambos os sexos, entre 7-12 anos de idade, separadas em dois grupos, com e sem transtorno de aprendizagem e concluíram que o grupo com TEA toleram menos ruído de fundo. No estudo de Freyaldenhoven e Smiley⁽³⁶⁾ foi avaliado o nível aceitável de ruído em 32 crianças entre 8-12 anos com sensibilidade auditiva normal. Foram avaliados o nível confortável de audição (MCLs) e os níveis máximos de ruído de fundo (BNLs) para conseguirem obter a ANL, e verificaram que o nível de ruído aceitável independe de sexo e da idade das crianças do estudo. Os resultados sugerem pesquisas com crianças com DA e ANL para o prognóstico do sucesso ou rejeição do aparelho de amplificação sonora individual (AASI). Estes estudos também referiram que o teste é aplicável em crianças de forma rápida^(35,36). Já o teste CNC foi usado apenas nos dois estudos de Rance et al.^(20,21). Trata-se de um teste antigo⁽³⁷⁾ para avaliar a percepção de fala em sujeitos com ou sem dificuldades auditivas⁽³⁸⁻⁴⁰⁾.

A habilidade de processamento temporal auditivo foi avaliada com a técnica de Álcantara et al.⁽⁴¹⁾, que observou uma diferença das crianças com TEA de seu estudo quando comparadas com controle (pareados por idade e Quociente de Inteligência), sugerindo que as crianças com TEA apresentavam redução da sensibilidade de modulação temporal. Rance et al.⁽²⁰⁾ lançou mão desta técnica, mostrando que houve menor sensibilidade das crianças menores com TEA às mudanças temporais. O teste LISN-S que avalia o processamento binaural foi aplicado unicamente por Rance et al.⁽²⁰⁾, observando pobre integração das crianças com TEA. O teste (LISN-S) também foi relatado no estudo de Cameron et al.⁽⁴²⁾ que avaliaram dez crianças com risco para Transtorno de Processamento Auditivo Central (TPAC), com resultados piores em todas as medidas de LISN-S para essas crianças do que para seus controles pareados

por idade, concluindo que este teste seria promissor na bateria de testes de PAC.

Nesses três estudos, Schafer et al.⁽¹⁵⁻¹⁷⁾ usaram em comum o BKB-SIN, para avaliar o reconhecimento de fala em ruído⁽⁴³⁾. O BKB-SIN foi aplicado no estudo de Ng et al.⁽⁴⁴⁾ em grupos mistos composto por adultos sem DA, crianças sem DA e crianças com DA, demonstrando confiabilidade nos resultados. Outros estudos com crianças também fizeram uso deste teste em suas investigações⁽⁴⁵⁻⁴⁹⁾.

O teste LTC-2 avalia a compreensão auditiva e foi realizado no estudo de Schafer et al.⁽¹⁶⁾ sendo observado melhora nesta habilidade.

Os estudos de Keller et al.⁽¹⁸⁾ e Keller⁽¹⁹⁾ não utilizaram instrumentos padronizados para avaliar o reconhecimento da fala. Os autores adotaram um procedimento observacional da performance de escuta através de perguntas às crianças, com base em três categorias, e seguindo o nível de comunicação. Apesar de não terem usado um instrumento validado, conseguiram comprovar a melhora no reconhecimento da fala dessas crianças minimamente verbais. O uso de instrumentos validados é importante por apresentar padrões de normalidade que favoreceram a interpretação de resultados de forma clara. Embora os estudos incluídos tenham avaliado habilidades distintas, houve avanço na percepção de fala em todos os sujeitos com TEA que utilizaram o SMR.

Entre os questionários que foram aplicados, o CHAPS foi usado em três estudos desta revisão⁽¹⁵⁻¹⁷⁾. O LIFE também foi um instrumento escolhido e aplicado^(16,17,20) e o APHAB foi usado em dois estudos^(20,21) e, por fim, o CHILD foi aplicado em dois estudos^(16,17). Estes questionários têm como finalidade extrair informações sobre as habilidades e dificuldades de escuta no ambiente escolar e/ou em casa. Esses instrumentos foram também aplicados em estudos com sujeitos com TPA e uso de SMR, como triagem auditiva, em idosos com DA e uso de AASI, como também, em sujeitos com TEA⁽⁵⁰⁻⁵⁵⁾. A seleção do instrumento para colher informações sobre as habilidades e dificuldades auditivas é particularmente relevante na população com TEA não verbal, sendo a observação estruturada um importante balizador para esse público.

Os aspectos comportamentais foram avaliados com o CBCL e TRF no estudo de Rance et al.⁽²¹⁾ e uma caracterização comportamental no estudo de Schafer et al.⁽¹⁵⁾. O CBCL contribui na identificação de transtornos emocionais como depressão e ansiedade, na dificuldade de atenção, além dos comportamentos agressivos, havendo pesquisas com crianças sob custódia, problemas de ansiedade e afetivos e bipolaridade. TRF identifica comportamentos interferentes das crianças em ambiente escolar⁽⁵⁶⁻⁵⁹⁾. A melhora na acessibilidade auditiva pode igualmente modificar o tipo e frequência de comportamentos interferentes, sendo mais uma variável a ser observada.

O perfil sensorial foi apenas explorado em um estudo⁽¹⁷⁾, onde observaram que os participantes com TEA, quando usaram o SMR, apresentaram menor dificuldade na filtragem auditiva e na sensibilidade visual/auditiva. No estudo de Lyons-Warren et al.⁽⁶⁰⁾, ao caracterizarem essas crianças com TEA com o uso do instrumento SSP, observaram entre os grupos que houve crianças que apresentaram alterações auditivas isoladas, e um

outro grupo com diferenças na audição e paladar concomitantes. O estudo de O'Brien et al.⁽⁶¹⁾ corrobora estes achados em crianças com TEA, ao verificarem níveis elevados de hipersensibilidade auditiva/visual em comparação com os controles. Assim, o SSP é um instrumento amplamente utilizado nessa população^(62,63) e no estudo de Schafer et al.⁽¹⁷⁾ nesta revisão, ao comparar com e sem SMR, evidenciou melhora na condição auditiva com uso de SMR nesta população.

O nível de estresse foi estudado através da verificação de concentração do cortisol salivar nas crianças, que é considerado um importante biomarcador do estresse^(64,65). Estudos como de Tordjman et al.⁽⁶⁶⁾ e Ogawa et al.⁽⁶⁷⁾ têm sido realizados com crianças com TEA para avaliação dos níveis de cortisol, pois nestas crianças são observadas regulação diurna variável e maior reatividade, principalmente em crianças mais velhas⁽⁶⁸⁾. Apenas um estudo desta revisão, o de Rance et al.⁽²¹⁾, estudou o estresse através desse biomarcador, sendo observado que o nível de cortisol estava elevado nas crianças que apresentavam pior percepção de fala gerando maior esforço auditivo, o que estaria provavelmente associado à maior nível de ansiedade para o desempenho das tarefas auditivas.

Foi usada a ACS em um dos estudos⁽²²⁾, que é uma medida de percepção social⁽⁶⁹⁾, sendo uma escala que pode ser realizada individualmente ou em grupo. Leung et al.⁽²²⁾ verificaram que na comparação com uso do SMR e treino auditivo pelo computador por três semanas, houve melhora significativa na capacidade da percepção social, tanto que, crianças com TEA superaram o grupo controle (GC, que não recebeu intervenção) na categoria de nomeação de afeto e se equiparar às pontuações de prosódia de percepção social com os pares de crianças do GC. Estes resultados nos permitem inferir que o processo de intervenção foi benéfico para as crianças com TEA, e que favoreceu a melhora na percepção social.

No estudo de Leung et al.⁽²²⁾ os autores realizaram a medida eletrofisiológica *Mismatch response (MMR)* nas crianças com TEA, e verificaram mudanças nas janelas de tempo pós intervenção, contudo os resultados mostraram que não ficou dentro do esperado como “normal” para o processamento auditivo. Assim, pode-se pensar que o tempo de intervenção foi insuficiente para normalizar esse processamento, contudo já trouxe benefícios às crianças do estudo quando comparado com o próprio desempenho na etapa pré intervenção, e ao serem comparadas com o GC pós intervenção. Ainda assim, estudos precisam ser realizados para corroborar esses achados com melhores condições de controle, pois o *MMR* é promissor na investigação da maturação auditiva de crianças, como é mencionado na revisão sistemática e de meta-análise realizada por Themans et al.⁽⁷⁰⁾. Além disso, o *MMR* pode estar relacionado bilateralmente no córtex auditivo e frontal, com lateralidade ao hemisfério esquerdo quando há processamento da fala⁽⁷¹⁾. Outras medidas eletrofisiológicas podem ainda ser aplicadas como marcadores de mudanças das habilidades auditivas, como as incluídas na bateria de avaliação do processamento auditivo⁽⁷²⁾.

Os estudos⁽¹⁵⁻²²⁾, apresentaram similaridades em seus objetivos, ou seja, o processo de intervenção com SMR na população com autismo foi a linha de base, e o desfecho da observação e caracterização dos achados pré e pós intervenção.

A similaridade também aconteceu em relação aos resultados que verificaram a melhora na percepção da fala como principal benefício da intervenção com SMR. Contudo, os estudos aqui elencados indicaram outros possíveis benefícios que a tecnologia assistiva poderia favorecer, como nos aspectos comportamentais, sociais, redução do nível de estresse, modificação da resposta eletrofisiológica após uso do SMR e treinamento auditivo, e minimização do esforço auditivo.

CONCLUSÃO

Os resultados da revisão de escopo demonstraram que crianças e adolescentes com TEA se beneficiaram com o processo de intervenção com a tecnologia assistiva de SMR melhorando a percepção da fala. Estes resultados contribuíram no processo de desenvolvimento destas crianças em ambientes escolares, familiares e sociais.

Ainda assim, mais pesquisas devem ser realizadas com um número amostral maior, com metodologias similares a fim de constituir evidências relativas aos critérios de indicação da tecnologia. O uso dessas ferramentas para mensurar de forma mais efetiva os impactos do *input* auditivo favorecido pelo uso do SMR pode evidenciar não apenas os resultados positivos referentes à percepção de fala como também impactos secundários, que já se mostram evidentes nos estudos desta revisão, mas que precisam de mais estudos que corroboram esses achados.

Assim, o SMR é promissor para uso nesta população, ao minimizar dificuldades na percepção de fala, propiciando benefícios secundários comportamentais, reduzindo esforço auditivo e estresse.

REFERÊNCIAS

1. Nelson LH, Anderson K, Whicker J, Barrett T, Muñoz K, White K. Classroom listening experiences of students who are deaf or hard of hearing using listening inventory for education—revised. *Lang Speech Hear Serv Sch*. 2020;51(3):720-33. http://doi.org/10.1044/2020_LSHSS-19-00087. PMID:32392436.
2. APA: American Psychiatric Association. Transtorno do Espectro Autista. Manual diagnóstico e estatístico de transtornos mentais. DSM-5. Porto Alegre: Artmed; 2014.
3. Schafer EC, Gopal KV, Mathews L, Thompson S, Kaiser K, McCullough S, et al. Effects of auditory training and remote microphone technology on the behavioral performance of children and young adults who have autism spectrum disorder. *J Am Acad Audiol*. 2019;30(5):431-43. <http://doi.org/10.3766/jaaa.18062>. PMID:31070123.
4. Feldman JI, Thompson E, Davis H, Keceli-Kaysili B, Dunham K, Woyonoski T, et al. Remote microphone systems can improve listening-in-noise accuracy and listening effort for youth with autism. *Ear Hear*. 2022;43(2):436-47. <http://doi.org/10.1097/AUD.0000000000001058>. PMID:35030553.
5. Benítez-Barrera CR, Angley GP, Tharpe AM. Remote microphone system use at home: impact on caregiver talk. *J Speech Lang Hear Res*. 2018;61(2):399-409. http://doi.org/10.1044/2017_JSLHR-H-17-0168. PMID:29330553.
6. Benítez-Barrera CR, Thompson EC, Angley GP, Woyonoski T, Tharpe AM. Remote microphone system use at home: impact on child-directed speech. *J Speech Lang Hear Res*. 2019;62(6):2002-8. http://doi.org/10.1044/2019_JSLHR-H-18-0325. PMID:31112670.
7. Thompson EC, Benítez-Barrera CR, Angley GP, Woyonoski T, Tharpe AM. Remote microphone system use in the homes of children with hearing loss: impact on caregiver communication and child vocalizations. *J Speech Lang*

- Hear Res. 2020;63(2):633-42. http://doi.org/10.1044/2019_JSLHR-19-00197. PMID:31967941.
8. Young D, McPherson B, Hickson L, Lawson M. Preferred FM system listening levels of children with central auditory processing disorders. Annual Summer Institute of the Academy-of-Rehabilitative-Audiology. 1997.
 9. Phonak. Ear-level FM receiver stimulates auditory neural plasticity in children with APD. Field Study News [Internet]. 2006 [citado em 2023 Set 10]. Disponível em: https://www.phonakpro.com/content/dam/phonakpro/gc_hq/fr/resources/evidence/field_studies/FSN_2006_EAr-level%20FM%20receiver%20stimulates%20auditory%20neural%20plasticity%20in%20children%20with%20APD_GB.pdf
 10. Sharma M, Purdy SC. A case study of an 11-year-old with auditory processing disorder. Aust N Z J Audiol. 2007;29(1):40-52. <http://doi.org/10.1375/audi.29.1.40>.
 11. Barker RE. Running head: experiences of remote microphone systems [thesis]. Canterbury: School of Psychology, Speech and Hearing University of Canterbury; 2020.
 12. Phonak. Roger DigiMaster 5000 [Internet]. 2013 [citado em 2023 Set 10]. Disponível em: https://www.phonakpro.com/content/dam/phonakpro/gc_hq/en/products_solutions/wireless_accessories/roger_dynamic_soundfield/documents/datasheet_roger_dynamic_soundfield_digimaster_5000.pdf
 13. Audiology Australia Submission. NDIA Consultation Paper: Interventions for children on the autism spectrum [Internet]. 2021 [citado em 2023 Ago 6]. Disponível em: <https://audiology.asn.au/Tenant/C0000013/Submission%20to%20NDIA%20on%20interventions%20for%20children%20on%20the%20autism%20spectrum.pdf>
 14. Tricco AC, Lillie E, Zarin W, O'Brien KK, Colquhoun H, Levac D, et al. PRISMA Extension for Scoping Reviews (PRISMA-ScR): checklist and Explanation. Ann Intern Med. 2018;169(7):467-73. <http://doi.org/10.7326/M18-0850>. PMID:30178033.
 15. Schafer EC, Mathews L, Mehta S, Hill M, Munoz A, Bishop R, et al. Personal FM systems for children with autism spectrum disorders (ASD) and/or attention-deficit hyperactivity disorder (ADHD): an initial investigation. J Commun Disord. 2013;46(1):30-52. <http://doi.org/10.1016/j.jcomdis.2012.09.002>. PMID:23123089.
 16. Schafer EC, Traber J, Layden P, Amin A, Sanders K, Bryant D, et al. Use of wireless technology for children with auditory processing disorders, attention-deficit hyperactivity disorder, and language disorders. Semin Hear. 2014;35(3):193-205. <http://doi.org/10.1055/s-0034-1383504>.
 17. Schafer EC, Wright S, Anderson C, Jones J, Pitts K, Bryant D, et al. Assistive technology evaluations: remote-microphone technology for children with Autism Spectrum Disorder. J Commun Disord. 2016;64:1-17. <http://doi.org/10.1016/j.jcomdis.2016.08.003>. PMID:27592101.
 18. Keller MA, Tharpe AM, Bodfish J. Remote microphone system use in preschool children with autism spectrum disorder and language disorder in the classroom: a pilot efficacy study. Am J Speech Lang Pathol. 2021;30(1):266-78. http://doi.org/10.1044/2020_AJSLP-20-00056. PMID:33201722.
 19. Keller MA. Listening difficulty in children with autism spectrum disorder: evaluation and intervention [dissertation]. Nashville: Faculty of the Graduate School of Vanderbilt University; 2021.
 20. Rance G, Saunders K, Carew P, Johansson M, Tan J. The use of listening devices to ameliorate auditory deficit in children with autism. J Pediatr. 2014;164(2):352-7. <http://doi.org/10.1016/j.jpeds.2013.09.041>. PMID:24183205.
 21. Rance G, Chisari D, Saunders K, Rault JL. Reducing listening-related stress in school-aged children with autism spectrum disorder. J Autism Dev Disord. 2017;47(7):2010-22. <http://doi.org/10.1007/s10803-017-3114-4>. PMID:28389756.
 22. Leung JH, Purdy SC, Corballis PM. Improving emotion perception in children with autism spectrum disorder with computer-based training and hearing amplification. Brain Sci. 2021;11(4):469. <http://doi.org/10.3390/brainsci11040469>. PMID:33917776.
 23. Brasil. Portaria No 3, de 19 de fevereiro de 2020. Torna pública a decisão de ampliar o uso do Sistema de Frequência Modulada Pessoal para indivíduos com deficiência auditiva de qualquer idade matriculados em qualquer nível acadêmico, no âmbito do Sistema Único de Saúde - SUS [Internet]. Diário Oficial da União; 2020 [citado em 2023 Ago 6]. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/portaria-n-3-de-19-de-fevereiro-de-2020-244302714?fbclid=IwAR0mct-oi2OB79wWdqBwr-YfQnH6PLDjCp2P1vTk4ycEZkIAQnLfrJaCnso>
 24. Sanz-Cervera P, Pastor-Cerezuela G, González-Sala F, Tárraga-Mínguez R, Fernández-Andrés MI. Sensory processing in children with autism spectrum disorder and/or attention deficit hyperactivity disorder in the home and classroom contexts. Front Psychol. 2017;8:8. <http://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01772>. PMID:29075217.
 25. Posar A, Visconti P. Sensory abnormalities in children with autism spectrum disorder. J Pediatr (Rio J). 2018;94(4):342-50. <https://doi.org/10.1016/j.jped.2017.08.008>.
 26. Campelo LD, Lucena JA, de Lima CN, de Araújo HMM, Viana LGO, Veloso MML, et al. Autismo: um estudo de habilidades comunicativas em crianças. Rev CEFAC. 2009;11(4):598-606. <http://doi.org/10.1590/S1516-18462009000800008>.
 27. de Campos LK, Fernandes FDM. Perfil escolar e as habilidades cognitivas e de linguagem de crianças e adolescentes do espectro do autismo. CoDAS. 2016;28(3):234-43. <http://doi.org/10.1590/2317-1782/20162015023>.
 28. Colella-Santos MF, Bragato GR, Martins PMF, Dias AB. Triagem auditiva em escolares de 5 a 10 anos. Rev CEFAC. 2009;11(4):644-53. <http://doi.org/10.1590/S1516-18462009000800013>.
 29. Costa KTL. Análise da avaliação audiológica e de hipersensibilidade em crianças com risco para o transtorno do espectro autista [dissertação]. Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte; 2021.
 30. Benítez-Barrera CR, Grantham DW, Hornsby BWY. The challenge of listening at home: speech and noise levels in homes of young children with hearing loss. Ear Hear. 2020;41(6):1575-85. <http://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000896>. PMID:33136633.
 31. Kappel V, Moreno ACP, Buss CH. Plasticity of the auditory system: theoretical considerations. Rev Bras Otorrinolaringol (Engl Ed). 2011;77(5):670-4. PMID:22030979.
 32. Bertachini ALL, Pupo AC, Morettin M, Martinez MAN, Bevilacqua MC, Moret ALM, et al. Frequency modulation system and speech perception in the classroom: a systematic literature review. CoDAS. 2015;27(3):292-300. <http://doi.org/10.1590/2317-1782/20152014103>. PMID:26222948.
 33. de Carvalho DS, Pedruzzi CM. Uso do sistema de frequência modulada por escolares com perda auditiva. Distúrb Comun. 2019;31(1):12-21. <http://doi.org/10.23925/2176-2724.2019v31i1p12-21>.
 34. Spósito C, Carneiro LA, Bento BCS, Bucuvic ÉC, Jacob RTS. Resistência ao uso do Sistema FM por crianças e adolescentes: fato ou mito? Uma análise de prontuários de pacientes atendidos em um serviço de saúde auditiva. Rev CEFAC. 2023;25(1):e8022. <http://doi.org/10.1590/1982-0216/20232518022s>.
 35. Koiek S, Pourbakht A, Mahdavi ME, Tahaei AA. Acceptable noise level in learning disordered children. Aud Vest Res. 2018;27(2):86-92.
 36. Freyaldenhoven MC, Smiley DF. Acceptance of background noise in children with normal hearing. J Educ Audiol. 2006;13:27-31.
 37. Peterson GE, Lehiste I. Revised CNC lists for auditory tests. J Speech Hear Disord. 1962;27(1):62-70. <http://doi.org/10.1044/jshd.2701.62>. PMID:14485785.
 38. Bode DL, Carhart R. Estimating CNC discrimination with spondee words. J Acoust Soc Am. 1975;57(5):1216-8. <http://doi.org/10.1121/1.380549>. PMID:1127177.
 39. Causey GD, Hood LJ, Hermanson CL, Bowling LS. The Maryland CNC Test: normative studies. Audiology. 1984;23(6):552-68. <http://doi.org/10.3109/00206098409081538>. PMID:6517748.
 40. Mendel LL, Mustain WD, Magro J. Normative data for the Maryland CNC Test. J Am Acad Audiol. 2014;25(8):775-81. <http://doi.org/10.3766/jaaa.25.8.7>. PMID:25380123.
 41. Alcántara JI, Cope TE, Cope W, Weisblatt EJ. Auditory temporal-envelope processing in high-functioning children with Autism Spectrum Disorder. Neuropsychologia. 2012;50(7):1235-51. <http://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2012.01.034>. PMID:22349444.

42. Cameron S, Dillon H, Newall P. The listening in spatialized noise test: an auditory processing disorder study. *J Am Acad Audiol*. 2006;17(5):306-20. <http://doi.org/10.3766/jaaa.17.5.2>. PMID:16796298.
43. Killion MC, Niquette PA, Revit LJ, Skinner MW. Quick SIN and BKB-SIN, two new speech-in-noise tests permitting SNR-50 estimates in 1 to 2 min. *J Acoust Soc Am*. 2001;109(5):2502. <https://doi.org/10.1121/1.4744912>.
44. Ng SL, Meston CN, Scollie SD, Seewald RC. Adaptation of the BKB-SIN Test for use as a pediatric aided outcome measure. *J Am Acad Audiol*. 2011;22(6):375-86. <http://doi.org/10.3766/jaaa.22.6.6>. PMID:21864474.
45. Gifford RH, Shalloo JK, Peterson AM. Speech recognition materials and ceiling effects: considerations for cochlear implant programs. *Audiol Neurotol*. 2008;13(3):193-205. <http://doi.org/10.1159/000113510>. PMID:18212519.
46. Wilson RH, McArdle RA, Smith SL. An evaluation of the BKB-SIN, HINT, QuickSIN, and WIN materials on listeners with normal hearing and listeners with hearing loss. *J Speech Lang Hear Res*. 2007;50(4):844-56. [http://doi.org/10.1044/1092-4388\(2007/059\)](http://doi.org/10.1044/1092-4388(2007/059)). PMID:17675590.
47. Donaldson GS, Chisolm TH, Blasco GP, Shinnick LJ, Ketter KJ, Krause JC. BKB-SIN and ANL predict perceived communication ability in cochlear implant users. *Ear Hear*. 2009;30(4):401-10. <http://doi.org/10.1097/AUD.0b013e3181a16379>. PMID:19390441.
48. Holder JT, Sheffield SW, Gifford RH. Speech understanding in children with normal hearing. *Otol Neurotol*. 2016;37(2):e50-5. <http://doi.org/10.1097/MAO.0000000000000907>. PMID:26756155.
49. Holder JT, Levin LM, Gifford RH. Speech Recognition in noise for adults with normal hearing: age-normative performance for AzBio, BKB-SIN, and QuickSIN. *Otol Neurotol*. 2018;39(10):e972-8. <http://doi.org/10.1097/MAO.0000000000002003>. PMID:30247429.
50. Gil, D. Treinamento auditivo formal em adultos com deficiência auditiva [tese]. São Paulo: Programa de Pós-graduação em Distúrbios da Comunicação Humana, Universidade Federal de São Paulo; 2006.
51. Kuk F, Jackson A, Keenan D, Lau CC. Personal amplification for school-age children with auditory processing disorders. *J Am Acad Audiol*. 2008;19(6):465-80. <http://doi.org/10.3766/jaaa.19.6.3>. PMID:19253780.
52. Wilson WJ, Jackson A, Pender A, Rose C, Wilson J, Heine C, et al. The CHAPS, SIFTER, and TAPS-R as Predictors of (C)AP Skills and (C)APD. *J Speech Lang Hear Res*. 2011;54(1):278-91. [http://doi.org/10.1044/1092-4388\(2010/09-0273\)](http://doi.org/10.1044/1092-4388(2010/09-0273)). PMID:20689023.
53. Flores NGC, Iório MCM. Limitação de atividades em idosos: estudo em novos usuários de próteses auditivas por meio do questionário PHAB. *Rev Soc Bras Fonoaudiol*. 2012;17(1):47-53. <http://doi.org/10.1590/S1516-80342012000100010>.
54. Donadon C, Pinto SNFR, Couto CM, Colella-Santos MF. Questionnaire children's auditory performance scale: translation and adaptation into Brazilian Portuguese [monograph]. Campinas: Programa de Pós-Graduação Latu Senu da Faculdade de Ciências Médicas, Universidade Estadual de Campinas; 2015.
55. Loo JHY, Rosen S, Bamio DE. Auditory training effects on the listening skills of children with auditory processing disorder. *Ear Hear*. 2016;37(1):38-47. <http://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000225>. PMID:26418044.
56. Heflinger CA, Simpkins CG, Combs-Orme T. Using the CBCL to determine the clinical status of children in state custody. *Child Youth Serv Rev*. 2000;22(1):55-73. [http://doi.org/10.1016/S0190-7409\(99\)00073-0](http://doi.org/10.1016/S0190-7409(99)00073-0).
57. Ferdinand RF. Validity of the CBCL/YSR DSM-IV scales anxiety problems and affective problems. *J Anxiety Disord*. 2008;22(1):126-34. <http://doi.org/10.1016/j.janxdis.2007.01.008>. PMID:17321103.
58. Ayer L, Althoff R, Ivanova M, Rettew D, Waxler E, Sulman J, et al. Child Behavior Checklist Juvenile Bipolar Disorder (CBCL-JBD) and CBCL Posttraumatic Stress Problems (CBCL-PTSP) scales are measures of a single dysregulatory syndrome. *J Child Psychol Psychiatry*. 2009;50(10):1291-300. <http://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2009.02089.x>. PMID:19486226.
59. Bolsoni-Silva AT, Silveira AMS, Cunha EV, Silva LL, Orti NP. Problemas de comportamento e funcionamento adaptativo no teacher's report form (TRF): comparações por gênero e escolaridade. *Gerais Rev. Interinst. Psicol*. 2016;9(1):141-55.
60. Lyons-Warren AM, Wangler MF, Wan YW. Cluster analysis of short sensory profile data reveals sensory-based subgroups in autism spectrum disorder. *Int J Mol Sci*. 2022;23(21):13030. <http://doi.org/10.3390/ijms232113030>. PMID:36361815.
61. O'Brien J, Tsermentseli S, Cummins O, Happé F, Heaton P, Spencer J. Discriminating children with autism from children with learning difficulties with an adaptation of the Short Sensory Profile. *Early Child Dev Care*. 2009;179(4):383-94. <http://doi.org/10.1080/03004430701567926>.
62. Tomchek SD, Dunn W. Sensory processing in children with and without autism: a comparative study using the short sensory profile. *Am J Occup Ther*. 2007;61(2):190-200. <http://doi.org/10.5014/ajot.61.2.190>. PMID:17436841.
63. Williams ZJ, Failla MD, Gotham KO, Woyanowski TG, Cascio C. Psychometric evaluation of the short sensory profile in youth with autism spectrum disorder. *J Autism Dev Disord*. 2018;48(12):4231-49. <http://doi.org/10.1007/s10803-018-3678-7>. PMID:30019274.
64. Hellhammer DH, Wüst S, Kudiella BM. Salivary cortisol as a biomarker in stress research. *Psychoneuroendocrinology*. 2009;34(2):163-71. <http://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2008.10.026>. PMID:19095358.
65. Fiorezi JN, Franke SIR, Prá D, Garcia EL, Renner JDP. Os efeitos da música em biomarcadores de estresse, imunológicos e comportamentais em portadores do espectro autista. *Cinergis*. 2017;18:367. <http://doi.org/10.17058/cinergis.v18i0.11174>.
66. Tordjman S, Anderson GM, Kermarrec S, Bonnot O, Geoffroy MM, Brailly-Tabard S, et al. Altered circadian patterns of salivary cortisol in low-functioning children and adolescents with autism. *Psychoneuroendocrinology*. 2014;50:227-45. <http://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2014.08.010>. PMID:25244637.
67. Ogawa S, Lee YA, Yamaguchi Y, Shibata Y, Goto Y. Associations of acute and chronic stress hormones with cognitive functions in autism spectrum disorder. *Neuroscience*. 2017;343:229-39. <http://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2016.12.003>. PMID:27956063.
68. Corbett BA, Simon D. Adolescence, stress and cortisol in autism spectrum disorders. *OA Autism*. 2014;1(1):2. PMID:24665363.
69. Trejos-Herrera AM, Bahamón MJ, Alarcón-Vásquez Y, Vélez JI, Vinaccia S. Validity and reliability of the multidimensional scale of perceived social support in colombian adolescents. *Interv Psicosoc*. 2018;27(1):56-63. <http://doi.org/10.5093/pi2018a1>.
70. Themas L, Lippus P, Padrik M, Kask L, Kreegipuu K. Maturation of the mismatch response in pre-school children: systematic literature review and meta-analysis. *Neurosci Biobehav Rev*. 2023;153:105366. <http://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2023.105366>. PMID:37633625.
71. Uhler KM, Hunter SK, Tierney E, Gilley PM. The relationship between mismatch response and the acoustic change complex in normal hearing infants. *Clin Neurophysiol*. 2018;129(6):1148-60. <http://doi.org/10.1016/j.clinph.2018.02.132>. PMID:29635099.
72. ASHA: American Speech-language-hearing Association. Central auditory processing disorder [Internet]. 2005 [citado em 2023 Set 10]. Disponível em: https://www.asha.org/practice-portal/clinical-topics/central-auditory-processing-disorder/#collapse_7

Contribuição dos autores

BSBV: idealização do estudo, análise e interpretação dos dados, redação do artigo; KMGs: análise e interpretação dos dados; ADSNA: idealização do estudo, análise e interpretação dos dados, redação do artigo, subcoordenador do estudo; JSB: interpretação e revisão do artigo. RTSJ: interpretação e revisão do artigo; KVMT: interpretação e revisão do artigo. SAB: orientadora, idealização do estudo, coordenador do estudo, redação e revisão da redação do artigo.

APÊNDICE 1. ESTRATÉGIA DE PESQUISA NAS BASES DE DADOS

Database	Search (16th March 2023)
Embase	("Autism Spectrum Disorder" OR "Autism Spectrum Disorders" OR "Autistic Spectrum Disorder" OR "Autistic Spectrum Disorders" OR "Autistic Disorder" OR "Infantile Autism" OR "Autism" OR "Early Infantile Autism") AND ("Sensory Aids" OR "Sensory Aid" OR "Self-Help Devices" OR "Self Help Devices" OR "Remote Microphone Systems" OR "Microphone System" OR "remote microphone technology" OR "Remote Microphone System" OR "FM system" OR "frequency modulation system")
LILACS	("Tecnologia Assistiva" OR "Dispositivos de Autoajuda" OR "Dispositivos Asistivos" OR "Dispositivos de Autoajuda" OR "Equipamentos Assistivos" OR "Equipamentos de Autoajuda" OR "Sistema de frequência modulada" OR "Sistema FM" OR "Microfone Remoto" OR "Assistive Technology" OR "Self-Help Devices" OR "Remote Microphone Systems" OR "Microphone System" OR "remote microphone technology" OR "Remote Microphone System" OR "FM system" OR "frequency modulation system" OR "remoto de micrófono" OR "sistema de frecuencia modulada" OR "tecnología de asistencia") AND (("Transtorno Autístico" OR "Autismo" OR "Autismo Infantil" OR "Síndrome de Kanner" OR "Transtorno do Espectro Autista" OR "Autism Spectrum Disorder" OR "Kanner's Syndrome" OR "Infantile Autism" OR "Autistic Disorder" OR "Transtorno del Espectro Autista"))
PubMed	("Autism Spectrum Disorder"[Mesh Terms] OR "Autism Spectrum Disorder" OR "Autism Spectrum Disorders" OR "Autistic Spectrum Disorder" OR "Autistic Spectrum Disorders" OR "Autistic Disorder" [Mesh Terms] OR "Autistic Disorder" OR "Kanner's Syndrome" OR "Kanner Syndrome" OR "Infantile Autism" OR "Autism" OR "Early Infantile Autism") AND ("Sensory Aids" [MeSH Terms] OR "Sensory Aids" OR "Sensory Aid" OR "Self-Help Devices" [MeSH Terms] OR "Self-Help Devices" OR "Self Help Devices" OR "Self-Help Device" OR "Remote Microphone Systems" OR "Microphone System" OR "remote microphone technology" OR "Remote Microphone System" OR "FM system" OR "frequency modulation system")
Scopus	("Autism Spectrum Disorder" OR "Autism Spectrum Disorders" OR "Autistic Spectrum Disorder" OR "Autistic Spectrum Disorders" OR "Autistic Disorder" OR "Kanner's Syndrome" OR "Kanner Syndrome" OR "Infantile Autism" OR "Autism" OR "Early Infantile Autism") AND ("Sensory Aids" OR "Sensory Aid" OR "Self-Help Devices" OR "Self Help Devices" OR "Self-Help Device" OR "Remote Microphone Systems" OR "Microphone System" OR "remote microphone technology" OR "Remote Microphone System" OR "FM system" OR "frequency modulation system")
Web of Science	("Autism Spectrum Disorder" OR "Autism Spectrum Disorders" OR "Autistic Spectrum Disorder" OR "Autistic Spectrum Disorders" OR "Autistic Disorder" OR "Kanner's Syndrome" OR "Kanner Syndrome" OR "Infantile Autism" OR "Autism" OR "Early Infantile Autism") AND ("Sensory Aids" OR "Sensory Aids" OR "Sensory Aid" OR "Self Help Devices" OR "Self-Help Device" OR "Remote Microphone Systems" OR "Microphone System" OR "remote microphone technology" OR "Remote Microphone System" OR "FM system" OR "frequency modulation system")
Google Scholar	("Autism" OR "Autism Spectrum Disorder" OR "Autistic Disorder") AND ("remote microphone system" OR "frequency modulation system" OR "sensory aids")
ProQuest	("Autism Spectrum Disorder" OR "Autism Spectrum Disorder" OR "Autism Spectrum Disorders" OR "Autistic Spectrum Disorder" OR "Autistic Spectrum Disorders" OR "Autistic Disorder" OR "Autistic Disorder" OR "Kanner's Syndrome" OR "Kanner Syndrome" OR "Infantile Autism" OR "Autism" OR "Early Infantile Autism") AND ("Sensory Aids" OR "Sensory Aids" OR "Sensory Aid" OR "Self-Help Devices" OR "Self-Help Devices" OR "Self Help Devices" OR "Self-Help Device" OR "Remote Microphone Systems" OR "Microphone System" OR "remote microphone technology" OR "Remote Microphone System" OR "FM system" OR "frequency modulation system")

APÊNDICE 2. RAZÃO DO CRITÉRIO DE EXCLUSÃO

Autor, Ano	Razão da exclusão
Dunn A, James P, Pelosi A, Sorensen E, Oleson J; 2021	1
Feldman JI, Thompson E, Davis H, Keceli-Kaysili B, Dunham K, Woynaroski T. et al.; 2022	2
Hess KL, Morrier MJ, Heflin, Heflin LJ, Ivey ML; 2008	3
Rance G; 2013	3
Schafer, E C; Gopal, K V; Mathews, L; Thompson, S; Kaiser, K; McCullough, S; Jones, J; Castillo, P; Canale, E; Hutcheson, A; 2019	2
Teleaudiology Today, 2022	3
Westby, C, 2014	3
1) Estudos que não sejam de intervenção; 2) Estudos com adultos/idoso; 3) revisões, artigos de opinião, posters, letters e resumos de conferências.	
Referências:	
1. Dunn A, James P, Pelosi A, Sorensen E, Oleson J. Managing listening difficulties in patients with ASD and normal hearing sensitivity. Hearing Review. 2021.	
2. Feldman JI, Thompson E, Davis H, Keceli-Kaysili B, Dunham K, Woynaroski T et al. Remote microphone systems can improve listening-in-noise accuracy and listening effort for youth with autism. Ear Hear. 2022;43(2):436-447.	
3. Hess KL, Morrier MJ, Heflin, Heflin LJ, Ivey ML. Autism treatment survey: services received by children with autism spectrum disorders in public school classrooms. J Autism Dev Disord. 2008;38:961-971.	
4. Rance G. In autism study, FM system enhances listening, attention, and behavior. Journal club. 2013;66(7)4-5.	
5. Schafer EC, Gopa KV, Mathews L, Thompson S, Kaiser K, McCullough S et al. Effects of auditory training and remote microphone technology on the behavioral performance of children and young adults who have autism spectrum disorder. J Am Acad Audiol. 2019;30:431-443.	
6. Teleaudiology today [internet]. Can Remote Microphone Systems Improve Listening-in-noise Accuracy in Children with Autism? The Hearing Journal. 2022;75(3):10. [cited 2023 nov 15]. available from: https://journals.lww.com/thehearingjournal/Fulltext/2022/03000/Can_Remote_Microphone_Systems_Improve.7.aspx	
7. Westby, C. FM; 2014. Systems with students with autism spectrum disorders or attention deficit hyperactivity disorder. [cited 2023 nov 15] [about 1 screens] Available from: https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1048395014527568b .	