Revista Eletrônica
Acervo Saúde
Electronic Journal Collection Health ISSN 2178-2091

Efeito do treinamento auditivo baseado em computador nas habilidades auditivas comportamentais e na codificação neural de fala: um estudo de caso

Effect of computer-based auditory training on behavioral auditory skills and neural speech coding: a case study

Efecto del entrenamiento auditivo basado en ordenador sobre las habilidades auditivas conductual y la codificación neuronal del habla: un estudio de caso

Daniela Martins Sanfelice[1], Christine Grellmann Schumacher[1], Tatiane Schmitz Garcia[1], Dara Eliza Rohers[1], Laís Ferreira[1], Eliara Pinto Vieira Biaggio[1].

RESUMO

Objetivo: Mensurar o efeito do protocolo de Treinamento Auditivo Baseado em Computador (TABC) nas habilidades auditivas comportamentais do Processamento Auditivo Central e na percepção dos pais quanto ao comportamento auditivo em uma criança com diagnóstico de Transtorno do Processamento Auditivo Central (TPAC), além de investigar a utilização do *Frequency Following Response* (FFR) como biomarcador de evolução terapêutica. **Detalhamento do caso:** Estudo de caso referente a uma criança, do sexo feminino, com sete anos de idade, com limiares auditivos tonais dentro dos padrões de normalidade, com diagnóstico de TPAC e sem alterações neurológicas previamente diagnosticadas. Procedimentos de pesquisa: anamnese geral, inspeção visual do meato acústico externo, audiometria tonal liminar, logoaudiometria, medidas de imitância acústica, breve avaliação comportamental do processamento auditivo central, aplicação do questionário *Auditory Processing Domains Questionnaire*(APDQ) e registro e análise do FFR. A criança recebeu a intervenção por meio do TAC.Foi possível mensurar o efeito da intervenção adotada nas habilidades auditivas comportamentais, assim como na codificação neural de fala, com uma diminuição das latências e aumento de amplitude de alguns componentes do FFR. **Conclusão:** O TABC favoreceu o desempenho em habilidades auditivas do PAC, sem impacto na percepção dos pais, e o FFR mostrou-se promissor como biomarcador.

Palavras-chave: Audição, Eletrofisiologia, Processamento auditivo.

ABSTRACT

Objective: To measure the effect of the Computer-Based Auditory Training (CBT) protocol on the behavioral auditory skills of Central Auditory Processing and on the parents' perception of auditory behavior in a child diagnosed with Central Auditory Processing Disorder (CAPD), in addition to investigating the use of Frequency Following Response (FFR) as a biomarker of therapeutic evolution. **Case details:** Case study of a seven-year-old female child, with pure tone hearing thresholds within normal limits, diagnosed with CAPD and without previously diagnosed neurological alterations. Research procedures: general anamnesis, visual inspection of the external auditory canal, pure tone audiometry, speech audiometry, acoustic immittance measurements, brief behavioral assessment of central auditory processing, application of the Auditory Processing Domains Questionnaire (APDQ) and recording and analysis of the FFR. The child received the intervention through

[1] Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS.

SUBMETIDO EM: 9/2025 | **ACEITO EM: 10/2025** | **PUBLICADO EM: 11/2025**

CAT. It was possible to measure the effect of the intervention on behavioral auditory skills, as well as on the neural coding of speech, with a decrease in latencies and an increase in the amplitude of some FFR components. **Final considerations:** CAT improved performance in auditory skills of the CAP, without impacting parental perception, and the FFR showed promise as a biomarker.

Keywords: Hearing, Electrophysiology, Auditory processing.

RESUMEN

Objetivo: Medir el efecto del protocolo de Entrenamiento Auditivo Basado en Computadora (TCC) en las habilidades auditivas conductuales del Procesamiento Auditivo Central y en la percepción de la conducta auditiva de los padres en un niño diagnosticado con Trastorno del Procesamiento Auditivo Central (TPAC), además de investigar el uso de la Respuesta de Seguimiento de Frecuencia (FFR) como biomarcador de evolución terapéutica. **Detalles del caso:** Estudio de caso de una niña de siete años, con umbrales auditivos de tonos puros dentro de límites normales, diagnosticada con TPAC y sin alteraciones neurológicas previamente diagnosticadas. Procedimientos de investigación: anamnesis general, inspección visual del conducto auditivo externo, audiometría de tonos puros, audiometría verbal, mediciones de inmitancia acústica, evaluación conductual breve del procesamiento auditivo central, aplicación del Cuestionario de Dominios del Procesamiento Auditivo (APDQ) y registro y análisis de la FFR. La niña recibió la intervención a través del TAC. Se pudo medir el efecto de la intervención adoptada en las habilidades auditivas conductuales, así como en la codificación neuronal del habla, con una disminución de las latencias y un aumento de la amplitud de algunos componentes de la FFR. **Consideracioes finales:** La TABC favoreció el desempeño en las habilidades auditivas del PAC, sin afectar la percepción de los padres, y la FFR demostró ser un biomarcador prometedor.

Palabras clave: Audición, Electrofisiología, Procesamiento auditivo.

INTRODUÇÃO

O Processamento Auditivo Central (PAC) refere-se ao modo como o Sistema Nervoso Auditivo Central (SNAC) realiza diversos processos perceptivos e neurobiológicos frente a um estímulo sonoro. Quando há uma alteração em uma ou mais habilidades auditivas que envolvam o PAC tem-se o Transtorno do Processamento Auditivo Central (TPAC) (ASHA, 2008). Para restabelecer os circuitos neurais envolvidos no PAC, uma das opções terapêuticas é o treinamento auditivo, sendo que um protocolo disponível na literatura é o Treinamento Auditivo Baseado em Computador (TABC) (MELO A, et al., 2016; HENSHAW H, FERGUSON MA, 2013; ASHA, 2008; CFF, 2020).

O avanço das tecnologias digitais aplicadas à reabilitação auditiva tem favorecido o desenvolvimento de programas que associam ciência da computação e neurociências. O TABC surge nesse contexto como ferramenta que alia recursos multimodais, elementos de gamificação e monitoramento em tempo real, aspectos que o diferenciam dos treinamentos auditivos tradicionais. Além disso, sua aplicabilidade transcende o TPAC, sendo explorado em populações com perda auditiva relacionada à idade, usuários de próteses auditivas e até em contextos de segunda língua (MELO A, et al., 2015; VALIM, CD, et al., 2025). Essa versatilidade amplia a relevância clínica do TABC e reforça sua utilidade terapêutica em diferentes cenários.

Localização sonora, discriminação, resolução e ordenação temporal, reconhecimento auditivo e/ou integração auditiva, são habilidades auditiva avaliadas com testes comportamentais padronizados que detectam o TPAC. Estes devem ser aliados a exames eletrofisiológicos da audição que analisam a funcionalidade do SNAC, desde regiões mais distais da via auditiva (ASHA, 2008; CFF, 2020).

Potenciais Evocados Auditivos (PEAs)podem ser realizados por meio de testes com estímulos acústicos verbais ou não-verbais e são utilizados para avaliar a integridade e funcionalidade da via auditiva de forma objetiva (ASHA, 2008; CFF, 2020). Além de serem indicados para mensurar o efeito de intervenções terapêuticas (BOAZ AM, BIAGGIO EPV, 2019; WEIHING J, et al., 2015).

O *Frequency Following Response* (FFR) é um dos PEA desencadeado por estímulo verbal e assim avalia o processamento auditivo da fala, mais especificamente a codificação neural da fala (FERREIRA L, et al., 2022; KRAUS N, NICOL T, 2014; COFFEY E, et al., 2021; SANFINFS MD, et al., 2017; JENG FC, et al., 2010). A capacidade do FFR em demonstrar como o SNAC gerencia informações acústicas de fala, faz com que essa avaliação possa revelar detalhes importantes da plasticidade neuronal, incluindo as possíveis mudanças após intervenções terapêuticas (BOAZ ÂM, BIAGGIO EPV, 2019; WEIHING J, et al., 2015; SANFINS MD, et al., 2017).

O uso deste PEAs é ainda mais interessante na população pediátrica, uma vez que não depende de respostas comportamentais da criança e em poucos minutos é possível mensurar o funcionamento da via auditiva de regiões mais elevadas do SNAC. O objetivo deste estudo foi mensurar o efeito do TABC nas habilidades auditivas comportamentais do Processamento Auditivo Central e na percepção dos pais quanto ao comportamento auditivo em uma criança com diagnóstico de TPAC. Além de investigar a utilização do *Frequency Following Response* como biomarcador de evolução terapêutica, neste caso.

DETALHAMENTO DE CASO

O delineamento desta pesquisa é um estudo de caso que foi realizado em uma clínica-escola de Fonoaudiologia de uma Instituição de Ensino Superior. Este estudo de caso fez parte de pesquisa aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Instituição (81117517.0.0000.5346 - parecer 6.099.641). Todos os princípios éticos e as normas/diretrizes regulamentadoras para pesquisa com seres humanos da Resolução 466/12, do Conselho Nacional de Saúde foram seguidos integralmente. O Termo de Consentimento Livre e Esclarecido foi assinado pelos responsáveis da criança e a mesma manifestou a concordância em participar da pesquisa, por meio do Termo de Assentimento. Os pesquisadores assinaram o Termo de Confidencialidade dos dados.

O estudo de caso refere-se a uma criança, do sexo feminino, com sete anos de idade, com limiares auditivos tonais dentro dos padrões de normalidade nas frequências de 250Hz a 8000Hz, presença de “Passa” na Triagem Auditiva Neonatal na caderneta das crianças, sem histórico de reprovação escolar, com diagnóstico recente de TPAC (ABA, 2016; CFF, 2020) e sem alterações neurológicas previamente diagnosticadas. A mesma não fazia uso de nenhum tipo de medicação, não apresentava queixa ou alterações perceptíveis de fala e linguagem, nunca realizou terapia multiprofissional e serviço de apoio pedagógico escolar. As queixas da família e das professoras na escola eram: desatenção, dificuldade de seguir ordens verbais e memorizar sequências numéricas.

A avaliação foi composta pelos seguintes procedimentos: anamnese geral, inspeção visual do meato acústico externo, audiometria tonal liminar, logoaudiometria, medidas de imitância acústica e breve avaliação comportamental do PAC, por meio de três testes: Teste Dicótico de Dígitos (TDD); Teste de Detecção de Intervalo Aleatório (RGDT - *Random Gap Detection Test*); Teste de Escuta Monótica com Sentenças / Figuras (PSI - *Pediatric Speech Intelligibility*). O questionário utilizado para avaliar a percepção dos pais com relação a diferentes comportamentos auditivos, foi o *Auditory Processing Domains Questionnaire* - APDQ (DIAS, et al., 2022). Para avaliar as respostas neurofisiológicas do SNAC, a participante foi submetida ao registro e análise do *Frequency-Following Response* (FFR).

Sobre a avaliação do PAC foi realizada em cabine acústica, com audiômetro da marca Interacoustics®, modelo AD229e, com fones supra aurais, modelo TDH 39. A breve avaliação comportamental do PAC foi composta pelos seguintes testes:

- Teste Dicótico de Dígitos (TDD), para avaliar a habilidade de figura fundo para sons verbais em escuta dicótica. Considerando o critério de normalidade na etapa de integração binaural (IB) na idade de sete anos, a porcentagem de acertos deveria ser ≥85% para OD e ≥82% para OE (ABA, 2016);
- Teste de Detecção de Intervalo Aleatório (RGDT - *Random Gap Detection Test*) para avaliar a habilidade de resolução temporal, em que a média das frequências avaliadas deveria ser igual ou menor que 10ms (ABA, 2016).

- Teste de Escuta Monótica com Sentenças / Figuras (PSI - *Pediatric Speech Intelligibility*) para avaliar a habilidade de figura fundo para sons verbais. Como critério de normalidade, a criança deverá obter uma porcentagem de ≥80% de acertos na relação sinal/ruído zero (ABA, 2016).

O questionário APDQ (DIAS KZ, et al., 2022) foi aplicado à mãe do sujeito de pesquisa com o intuito de auxiliar no diagnóstico de TPAC, analisando a probabilidade de Transtorno de Déficit de Atenção e Hiperatividade (TDAH) e/ou distúrbio de linguagem. É um questionário composto por 52 perguntas divididas em três domínios: Processamento auditivo, atenção e linguagem. Foi traduzido e validado para o português brasileiro podendo ser aplicado para mensurar o comportamento auditivo de crianças de 7 a 17 anos (DIAS KZ, et al., 2022), segundo a percepção dos pais.

Para cada pergunta, é necessário a pontuação de acordo com o comportamento observado, sendo que se pontua quatro pontos (mais de 75%) quando ocorre quase sempre; três pontos (mais de 44%) se o comportamento for observado frequentemente; um ponto (menos de 44%) se ocorre às vezes, zero pontos (menos de 25%) se o comportamento foi observado raramente.

Dessa forma, os pontos máximos que podem ser obtidos em cada domínio são 124, 40 e 44, respectivamente, para processamento auditivo, atenção e linguagem, com um total de 208 pontos. As pontuações de desempenho em cada domínio foram apresentadas em porcentagem. Portanto, após a coleta de dados, as respostas foram registradas em uma planilha Excel, para cálculo de todos os escores em cada domínio e gerou-se um escore geral em porcentagem. Cabe destacar que quanto maior a pontuação melhor o comportamento auditivo.

Para análise da codificação neural dos sons da fala, realizou-se a pesquisa do FFR *(Frequency Following Response)* no módulo *Smart Ep* da marca *Intelligent Hearing Systems*® (IHS). Os eletrodos de superfície foram posicionados de acordo com o Sistema Internacional 10/20 após a higienização da pele. Os eletrodos de referência foram fixados na mastóide esquerda (M1) e na mastóide direita (M2) e os eletrodos ativo (Fpz) e terra (Fz) foram posicionados na fronte. O exame foi realizado com a criança posicionada em uma poltrona reclinável, em sala silenciosa.

A sílaba /da/, de 40 ms de duração, foi apresentada de forma monoaural na orelha direita, por meio de fones de inserção do tipo ER 3A, na intensidade de 80 dBnHL. A polaridade utilizada foi a alternada, sendo a taxa de apresentação do estímulo de 10,90 ms. Foram utilizados filtros passa-baixa e passa-alto de 100Hz e 3000 Hz, respectivamente.

Manteve-se a impedância em até 3kΩ, entre os canais de registro. Para captar as respostas, foram realizados dois registros de 3000 estimulações cada, somados e que deram origem a uma onda resultante, na qual foram identificadas os componentes V, A, C, D, E, F, O. Foi realizada uma análise descritiva das variáveis correspondentes ao domínio do tempo (ms), analisando a amplitude (μV) e latências absolutas (ms) de cada componente; deslocamentos (ms) (V-D, C-D, D-O, A-D e A-O) e a medida do slope (ms/μV) (FERREIRA L, et al., 2022)

Para complementar o estudo do FFR, analisou-se de forma descritiva a representação gráfica do espectrograma (*Time-frequency distribution*) gerada pelo próprio *software* do módulo *Smart EP,* item *cABR*. Assim, obteve-se uma análise frequencial básica, por meio da demonstração visual da representação conjunta de tempo-frequência da resposta do FFR, apresentando assim as respostas eletrofisiológicas-neurofisiológicas de ativação neuronal. A análise frequencial na sua íntegra não está disponível no equipamento utilizado nesta pesquisa.

Após avaliações e diagnóstico de TPAC, a criança recebeu uma breve intervenção terapêutica, por meio de um TABC, mediado pelo *software* Escuta Ativa®[11]. Foram realizadas oito sessões de treinamento, duas vezes na semana, com duração de 30 a 45 minutos cada.

Em cada sessão, eram estimuladas duas habilidades, com diferentes níveis de dificuldade, variando entre fácil, médio, difícil e insano, considerando o percentual de acertos. No quadro 1 são descritas as estratégias terapêuticas utilizadas no TABC adotado.

Quadro 1 - Protocolo de Treinamento Auditivo Computadorizado adotado considerando as principais habilidades e descrição de cada tarefa do *software* Escuta Ativa®.

1° Sessão		
Tarefa	**Habilidades Auditivas Envolvidas**	**Descrição da Tarefa**
Quantos Intervalos (todos os níveis)	Atenção auditiva e resolução temporal	São apresentados estímulos auditivos entre tons puros, músicas e frases onde o sujeito deve perceber os intervalos de silêncio entre os estímulos.
Qual Som Ouviu (nível fácil e médio)	Atenção e discriminação auditiva	São apresentados dois sons verbais parecidos e a criança deve responder se eles são iguais ou diferentes.
2° Sessão		
Qual Som Ouviu (nível difícil e insano)	Atenção e discriminação auditiva	São apresentados dois sons verbais parecidos e a criança deve responder se eles são iguais ou diferentes.
Audição e Atenção (todos os níveis)	Reconhecimento, fechamento auditivo e atenção	São ouvidas palavras (duas) e deve-se responder o solicitado pelo enunciado – perguntas relacionadas a atividades de consciência fonológica.
3° Sessão		
Quantos Sons (todos os níveis)	Resolução temporal e atenção auditiva	Sons de diferentes instrumentos musicais são apresentados onde deve-se identificar a quantidade de estímulos que foram apresentados.
Siga a Flauta (nível fácil e médio)	Padronização temporal (duração) e memória auditiva	São apresentadas sequências com diferentes padrões sonoros tocados por uma flauta que diferem quanto a duração (curto e longo) variando de três a cinco sons e a criança deve reproduzi-las da mesma forma.
4° Sessão		
Siga a Flauta (nível difícil e insano)	Padronização temporal (duração) e memória auditiva	São apresentadas sequências com diferentes padrões sonoros tocados por uma flauta que diferem quanto a duração (curto e longo) variando de três a cinco sons e a criança deve reproduzi-las da mesma forma.
Siga o Piano (todos os níveis)	Padronização temporal (frequência) e memória auditiva	Após apresentados sequências com diferentes padrões sonoros tocados por um piano que diferem quanto à frequência (grave e agudo) variando de três a cinco sons e a criança deve reproduzi-las da mesma forma.
5° Sessão		
Siga a Sequência (todos os níveis)	Memória auditiva, memória operacional, integração do não-verbal ao verbal, função executiva	Após a apresentação de uma sequência de sons (sons de animais e/ou características de diferentes pessoas), segundo a ordem solicitada deve-se pontuá-los no cenário apresentado.
Bem na Mira (nível fácil e médio)	Separação binaural e atenção.	São apresentados estímulos dicóticos verbais (um em cada orelha ao mesmo tempo) e a criança deve identificar onde determinado estímulo (números, palavras e/ou expressões) foi apresentado.
6° Sessão		
Bem na Mira (nível difícil e insano)	Separação binaural e atenção.	São apresentados estímulos dicóticos verbais (um em cada orelha ao mesmo tempo) e a criança deve identificar onde determinado estímulo (números, palavras e/ou expressões) foi apresentado.
Esquerda - Direita	Integração Binaural e atenção auditiva	Dois estímulos são apresentados de forma dicótica onde a criança deve identificar quais palavras foram ouvidas em cada orelha entre diferentes opções semelhantes.
7° Sessão		
Binaural (Todos os níveis)	Localização, atenção e memória.	Sons são apresentados e deve-se identificar de onde vêm os estímulos. As diferentes posições variam entre lateralização e distância (direita ou esquerda / longe ou perto).
8° Sessão		
Pegue se Puder (Faixa Bônus)	Atenção visual, coordenação viso-manual	Nesta tarefa a criança deve seguir o deslocamento rápido de uma fruta na tela, clicando sobre ela conforme o solicitado.
Siga o Ritmo (Faixa Bônus)	Processamento temporal, velocidade de processamento	Nesta tarefa a criança deverá acertar o maior número de notas musicais, através de setas de direção correspondentes, que se diferenciam por cores enquanto uma música é ouvida.

Fonte: Sanfelice DM, et al., 2025.

Para atingir o objetivo proposto neste estudo, fez-se uma análise descritiva das respostas comportamentais e eletrofisiológicas do SNAC, em dois momentos distintos: antes do TABC (denominada etapa pré-TABC) e 15 dias depois da última sessão de intervenção (denominada etapa pós-TABC). Cabe destacar que nas duas etapas foram realizadas as mesmas avaliações comportamentais do PAC e o registro do FFR, nas mesmas condições. Além disso, diferentes profissionais cegados conduziram as avaliações e o programa de intervenção auditiva, garantindo assim a imparcialidade em relação aos resultados mensurados por meio das avaliações da criança. Os resultados da intervenção proposta na avaliação comportamental do PAC e na análise do questionário APDQ podem ser observados na **Tabela 1**.

Tabela 1 - Análise descritiva do desempenho nos testes comportamentais do Processamento Auditivo Central nas etapas pré e pós protocolo de Treinamento Auditivo Baseado em Computador.

	Etapa PRÉ TABC	**Etapa PÓS TABC**
Teste Dicótico de Dígitos (TDD)		
Integração Binaural OD	70 % acertos	97,5% acertos
Integração Binaural OE	70% acertos	97,5% acertos
Teste de Detecção de Intervalo Aleatório (*Random Gap Detection Test* - RGDT)		
Média das 4 frequências	8 ms	5,25 ms
Teste de Escuta Monótica com Figuras (*Pediatric Speech Intelligibility*- PSI)		
Relação S/R 0	100%	100%
***Auditory Processing Domains Questionnaire* (APDQ)**		
Processamento auditivo	92%	92%
Atenção	72%	72%
Linguagem	100%	100%

Legenda: TABC: Treinamento Auditivo Baseado em Computador; TDD: Teste Dicótico de Dígitos; RGDT: Random Gap Detection Test (Teste de Detecção de Intervalo Aleatório); IB: Integração binaural; OD: orelha direita; OE: orelha esquerda; S/R: sinal/ruído. **Fonte:** Sanfelice DM, et al., 2025.

Em relação a codificação neural de fala e os dados da análise temporal do FFR podem ser visualizados na **Tabela 2**.

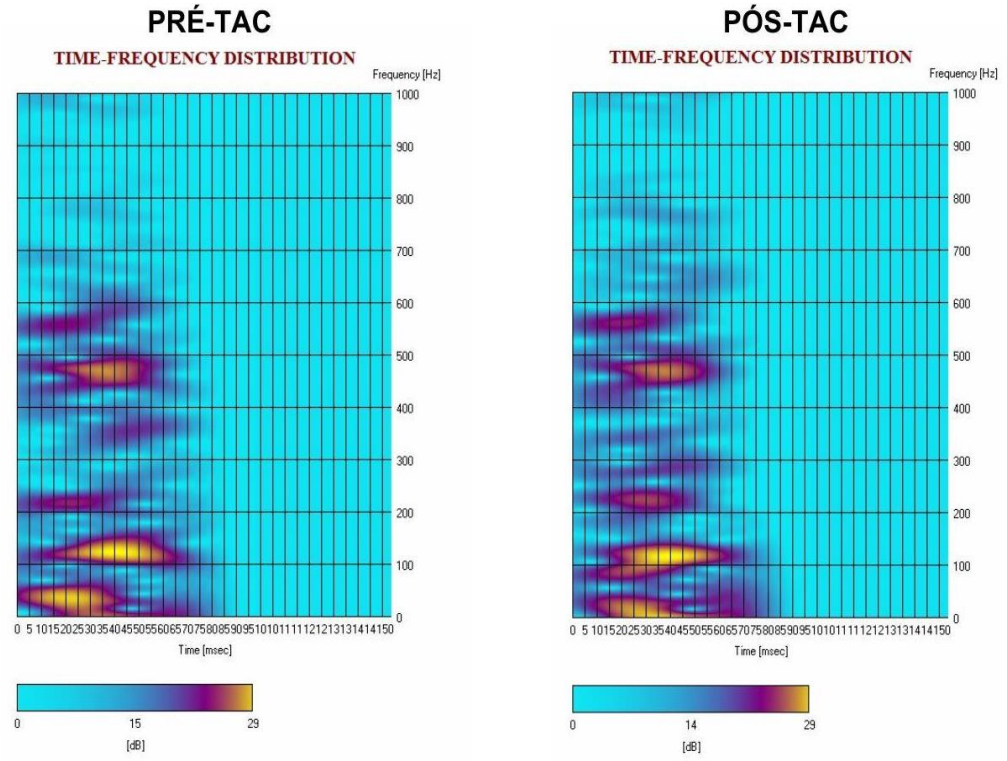
Tabela 2 - Análise descritiva dos dados da análise temporal do *Frequency Following Response* nas etapas pré e pós protocolo de Treinamento Auditivo Baseado em Computador.

	PRÉ TAC	**PÓS TAC**
	Latência-Amplitude (ms-µV)	**Latência - Amplitude (ms - µV)**
V	7.00 - 0.16	6.63 - 0.18
A	7.63 - 0.16	7.63 - 0.16
C	16.50 - 0.07	16.38 - 0.07
D	21.88 - 0.13	21.75 - 0.13
E	33.13 - 0.09	31.13 - 0.19
F	39.50 - 0.16	39.50 - 0.16
O	48.38 - 0.13	47.88 - 0.14
	Deslocamentos (ms)	
V-C	8.87	8.75
D-C	5.38	5.37
D-O	26.5	26.13
A-D	14.25	14.12
A-O	40.75	40.25
	***SLOPE* (ms/µV)**	
SLOPE V/A	0.50	0.34

Legenda: TABC: treinamento auditivo computadorizado; ms: latência; uV: amplitude. **Fonte:** Sanfelice DM, et al., 2025.

Na **Figura 1**, evidencia-se a análise do *time-frequency distribution* (TFD), por meio do espectrograma do *Frequency Following Response,* nas etapas pré e pós TABC adotado.

Figura 1 - Análise do espectro de frequência evidencia-se por meio do espectrograma e análise rápida de *Fourier - fast fourier transform* (FFT) nas etapas pré e pós protocolo de Treinamento Auditivo Computadorizado.



Legenda: Distribuição frequência/tempo. **Fonte:** Sanfelice DM, et al., 2025.

DISCUSSÃO

Ao analisar o efeito do protocolo de TABC, observou-se melhora nos testes comportamentais do PAC e nos registros do FFR. Este permitiu mensurar a intervenção na codificação neural de fala, com diminuição de latências, aumento de amplitude em alguns componentes e maior ativação neural no espectrograma.

Na **Tabela 1**, nota-se aumento na pontuação do TDD (integração binaural), que avalia figura-fundo para sons verbais (ABA, 2016). O TABC possibilitou evolução significativa, com desempenho próximo da totalidade de acertos na etapa pós-intervenção. No RGDT, que avalia resolução temporal (ABA, 2016), também houve melhora. Essa habilidade é essencial para percepção da fala, por estar relacionada à entonação, ritmo e duração dos fonemas (BALEN SA, et al., 2009).

Apesar de a criança já apresentar desempenho adequado, o treinamento favoreceu maior precisão, provavelmente refletindo nas queixas iniciais. No PSI, o desempenho manteve-se em 100% antes e depois da intervenção, confirmando que esta não era uma habilidade deficitária (KRAUS N, SLATER J, 2015).

As mudanças nos testes evidenciam plasticidade neural, pois o treino promoveu reorganização do SNAC (ALVAREZ A, et al, 2010; KRAUS N, SLATER J, 2015), achado consistente com estudos sobre os benefícios do TABC (MELO A, et al., 2016; BOAZ ÂM, BIAGGIO EPV, 2019; WEIHING J, et al., 2015).

Esta modalidade alia princípios do treinamento auditivo a recursos digitais interativos, permitindo tarefas estruturadas e adaptáveis às necessidades individuais, além de utilizar gamificação e possibilidade de prática domiciliar. Tais recursos aumentam engajamento, frequência de estimulação auditiva e favorecem resultados mais consistentes. O APDQ (DIAS KZ, et al., 2022), embora aplicado em ambas as etapas, não mostrou mudanças, divergindo do relato positivo da família.

É possível que o instrumento, por ser extenso e repetitivo, não tenha captado tais modificações. Outros trabalhos com TABC usando a Escala de Funcionamento Auditivo (SAB - *Scale of Auditory Behavior*) evidenciaram impacto na percepção familiar (BOAZ, BIAGGIO, 2019). O número reduzido de sessões também pode justificar a ausência de diferença.

Quanto ao FFR, verificou-se redução das latências na maioria dos componentes, sugerindo codificação mais rápida (BOAZ ÂM, BIAGGIO EPV, 2019; KRAUS N, NICOL T, 2014). Embora as amplitudes tenham permanecido estáveis na maioria das ondas, algumas (V, E e O) indicaram maior ativação neuronal.

O gerador primário do FFR, o colículo inferior, integra informações sensoriais e cognitivas, refletindo funcionamento de rede auditiva (KRAUS N, SLATER J, 2015). A repetição de estratégias auditivas fortalece essas conexões, justificando as mudanças observadas.

O FFR possui alta reprodutibilidade intra e inter-sujeito (SONG J, et al., 2011), o que reforça a confiabilidade dos achados pós-TABC. A análise espectral (TFD) mostrou maior ativação em todas as regiões, evidenciada pela expansão da representação gráfica, incluindo bandas ligadas ao *human vocal pitch* e *phase locking activity* (KRIZMAN J e KRAUS N, 2019). Tais alterações refletem ajustes neurofisiológicos que sustentam mudanças comportamentais.

Embora ainda pouco explorado na prática clínica, o uso do FFR como biomarcador terapêutico vem sendo respaldado por evidências (BOAZ ÂM e BIAGGIO EPV, 2019; WEIHING J, et al., 2015; COFFEY E, et al., 2021). Este estudo contribui como base inicial, ressaltando as limitações de um delineamento de caso único, mas reforçando a relevância do TABC como intervenção eficaz e acessível para crianças com TPAC. O FFR, por sua vez, configura-se como ferramenta promissora para monitorar objetivamente a evolução terapêutica. Em conjunto, esses recursos favorecem avanços clínicos, contribuindo para inclusão, melhor qualidade de vida e desempenho escolar.

A inserção do FFR na prática clínica fonoaudiológica pode ampliar a capacidade do profissional em monitorar a efetividade das intervenções de forma objetiva, oferecendo um parâmetro fisiológico adicional aos resultados comportamentais. Essa ferramenta contribui para a tomada de decisão terapêutica, auxiliando na definição de estratégias individualizadas e na verificação de progressos que nem sempre são perceptíveis em avaliações subjetivas. A aplicabilidade clínica do FFR, portanto, reside na possibilidade de validar os efeitos do treinamento auditivo de maneira mensurável, fornecendo subsídios importantes para o acompanhamento de casos complexos de TPAC.

O TABC configura-se como um recurso acessível e de grande aplicabilidade na prática clínica, permitindo ao fonoaudiólogo desenvolver intervenções mais dinâmicas e ajustadas às necessidades individuais de cada paciente. Sua proposta interativa e lúdica favorece o engajamento e a adesão ao tratamento, elementos fundamentais para a consolidação e manutenção dos ganhos auditivos ao longo do tempo (MELO AD, et al., 2015).

Outro aspecto relevante é que o protocolo adotado neste estudo já se encontra disponível por meio do software Escuta Ativa®, o que possibilita sua utilização imediata no contexto clínico. Essa disponibilidade garante maior padronização das estratégias terapêuticas e viabiliza a aplicação de procedimentos baseados em evidências, reduzindo a distância entre a pesquisa científica e a prática profissional.

Além disso, ao oferecer uma ampla diversidade de estímulos auditivos, o TABC contribui para potencializar a plasticidade neural e ampliar as possibilidades de intervenção. Nesse sentido, a integração entre o TABC e o FFR representa um avanço significativo para a Fonoaudiologia, pois fortalece a objetividade da avaliação e a eficácia das condutas, assegurando benefícios clínicos mais consistentes e sustentáveis.

Observou-se um efeito positivo do protocolo de Treinamento Auditivo Baseado em Computador nas habilidades auditivas comportamentais em uma criança com diagnóstico de TPAC. Contudo, não foram observadas mudanças significativas na percepção dos pais quanto ao comportamento auditivo. O *Frequency Following Response,* especialmente considerando os resultados na análise frequencial, demonstrou-se neste caso, ser uma avaliação promissora para mensurar a evolução terapêutica.

REFERÊNCIAS

1. ALVAREZ A, et al. Escuta ativa: avaliação e treinamento auditivo neurocognitivo. CTS Informática, 2010. Disponível em: https://www.ctsinformatica.com.br/fonoaudiologia/audioproc-auditivo/escuta-ativa-avaliacao-e-treinamento-auditivo-neurocognitivo. Acessado em: 31 ago. 2025.
2. AMERICAN ACADEMY OF AUDIOLOGY. Clinical practice guidelines: diagnosis, treatment and management of children and adults with central auditory processing disorder. 2010. Disponível em: https://audiology-web.s3.amazonaws.com/migrated/CAPD%20Guidelines%2082010.pdf_539952af956c79.73897613.pdf. Acessado em: 10 mar. 2025.
3. AMERICAN SPEECH-LANGUAGE-HEARING ASSOCIATION. Speech sound disorders – articulation and phonology. 2008. Disponível em: https://www.asha.org/practice-portal/clinical-topics/articulation-and-phonology/. Acessado em: 15 mar. 2025.
4. ACADEMIA BRASILEIRA DE AUDIOLOGIA. Encontro Internacional de Audiologia, 31º. Fórum: diagnóstico audiológico. Recomendações e valores de referência para o protocolo de avaliação do PAC: comportamental e eletrofisiológica. São Paulo; 2016. Disponível em: https://audiologiabrasil.org.br/31eia/pdf/forum_f.pdf. Acessado em: 15 mar. 2025.
5. BALEN SA, et al. Resolução temporal de crianças: comparação entre audição normal, perda auditiva condutiva e distúrbio do processamento auditivo. Rev Bras Otorrinolaringol, 2009; 75(1): 123–129.
6. BOAZ ÂM e BIAGGIO EPV. Desempenho no treinamento auditivo computadorizado. Audiol Commun Res, 2019; 24: e1942.
7. COFFEY E, et al. Oscillatory entrainment of the frequency-following response in auditory cortical and subcortical structures. J Neurosci, 2021; 41(18): 4073-4087.
8. CONSELHO FEDERAL DE FONOAUDIOLOGIA. Guia de orientação: avaliação e intervenção no processamento auditivo central. 2020. Disponível em: https://www.fonoaudiologia.org.br/comunicacao/guia-de-orientacao-avaliacao-e-intervencao-no-processamento-auditivo-central/. Acessado em: 2 mar. 2025.
9. DIAS KZ, et al. The auditory processing domains questionnaire (APDQ): Brazilian–Portuguese version. Braz J Otorhinolaryngol, 2022; 88(6): 823-840.
10. FERREIRA L, et al. O efeito do desenvolvimento infantil nos componentes da resposta de seguimento de frequência. PLoS ONE, 2022; 17(9): e0260739.
11. HENSHAW H e FERGUSON MA. Eficácia do treinamento auditivo individual baseado em computador para pessoas com perda auditiva: uma revisão sistemática das evidências. PLoS One, 2013; 8(5): e62836.
12. JENG FC, et al. Early maturation of frequency-following responses to voice pitch in infants with normal hearing. Percept Mot Skills, 2010; 111(3): 765-784.
13. KRAUS N e NICOL T. The cognitive auditory system: the role of learning in shaping the biology of the auditory system. In: FAY R e POPPER A, eds. Perspectives on auditory research. Heidelberg: Springer-Verlag, 2014; p. 299–319.
14. KRAUS N e SLATER J. Music and language: relations and disconnections. Handb Clin Neurol, 2015; 129: 207-222.
15. KRIZMAN J e KRAUS N. Analyzing the FFR: a tutorial for decoding the richness of auditory function. Hear Res, 2019; 382: 107779.
16. MELO ÂD, et al. O uso de software no treinamento auditivo em crianças: revisão teórica. Revista CEFAC, 2015, 17(6), 2025-2032.
17. MELO Â, et al. Efeitos do treinamento auditivo computadorizado em crianças com transtorno do processamento auditivo e sistema fonológico típico e atípico. Audiol Commun Res, 2016; 21: e1683.
18. SANFINS MD, et al. Speech auditory brainstem response (speech ABR) in the differential diagnosis of scholastic difficulties. Braz J Otorhinolaryngol, 2017; 83: 112-116.
19. SONG J, et al. Test-retest reliability of the speech-evoked auditory brainstem response. Clin Neurophysiol, 2011; 122(2): 346-355.
20. VALIM CD, et al. Efeito do treinamento auditivo nas habilidades auditivas e de fala em crianças com transtornos dos sons da fala. CoDAS Sociedade Brasileira de Fonoaudiologia. 2025; 37(2): e20240008.
21. WEIHING J, et al. Auditory training for central auditory processing disorder. Semin Hear, 2015; 36(4): 199-215.