

Limiar de Contraste Audível (ACT™)

Artigo
2023

Um teste de diagnóstico independente de idioma para quantificar a capacidade de compreensão de fala em meio ao ruído em situações da vida real e personalizar as configurações de auxílio no ruído em aparelhos auditivos.

EDITORES DA EDIÇÃO

Søren Laugesen, PhD

Unidade de Pesquisa Interacústica, Interacoustics A/S

Sébastien Santurette, PhD

Centro de Pesquisa em Audiologia Aplicada, Oticon A/S



Interacoustics

Índice

| | |
|--|----|
| Audição em meio ao ruído: A importância de olhar além do audiograma | 3 |
| Desenvolvimento do teste ACT: Uma jornada científica | 4 |
| Implementação clínica final do ACT | 6 |
| Colocando o ACT à prova: Um estudo clínico em dois locais | 8 |
| Participantes do estudo | 8 |
| Procedimentos de exame | 8 |
| Resultados: Relação entre o ACT e a compreensão da fala no ruído | 10 |
| Resultados: Confiabilidade teste-reteste do ACT | 11 |
| A primeira prescrição de auxílio no ruído para aparelhos auditivos baseada no ACT | 11 |
| Resultados: Benefícios do uso de uma prescrição de auxílio no ruído baseada no ACT | 12 |
| Uso do ACT para adaptação de aparelhos auditivos na prática | 13 |
| Conclusão | 14 |
| Agradecimentos | 14 |
| Referências | 15 |

Resumo

A dificuldade de ouvir em ambientes ruidosos é uma das principais manifestações da perda auditiva. Para muitos, a audição em meio ao ruído e, principalmente, a compreensão da fala em ambientes ruidosos continuam sendo um problema, mesmo quando recebem amplificação por meio de um aparelho auditivo. Embora esse fato seja conhecido por mais de meio século de pesquisas científicas, não há, até o momento, nenhum método baseado em evidências para ajustar as configurações de aparelhos auditivos avançados com base em uma avaliação clínica padrão da capacidade de uma pessoa de ouvir em meio ao ruído. Quando se trata de recursos de ajuda no ruído, a maioria dos usuários de aparelhos auditivos recebe as configurações padrão na primeira adaptação e, se ajustadas, as configurações são determinadas subjetivamente e, muitas vezes, reavaliadas em um processo de tentativa e erro. Este artigo apresenta o teste de diagnóstico Limiar de Contraste Audível (*Audible Contrast Threshold, ACT*), um método rápido, confiável e independente de idioma para avaliar a capacidade de uma pessoa de compreender a fala em meio ao ruído em situações da vida real. São descritos o histórico de pesquisa e os estudos que levaram ao desenvolvimento e à otimização do teste para uso clínico, com um resumo dos principais princípios por trás do procedimento do teste ACT. Em seguida, é apresentado o primeiro estudo clínico em larga escala com usuários do ACT e de aparelhos auditivos. Os resultados confirmam uma forte relação entre o ACT e a habilidade de compreensão da fala no ruído em todos os idiomas. A utilidade do ACT para orientar a prescrição de quantidades benéficas de auxílio no ruído em aparelhos auditivos também é demonstrada, assim como a excelente confiabilidade do teste. Com o ACT, agora é possível personalizar as configurações de auxílio no ruído de forma mais objetiva nos aparelhos auditivos com base na necessidade individual medida do usuário. Em um esforço conjunto, a Interacoustics e a Oticon definiram a primeira regra de prescrição baseada em evidências para configurações de auxílio no ruído em aparelhos auditivos Oticon. Essa regra de prescrição permite a integração perfeita da personalização baseada no ACT no software de adaptação da Oticon.

Audição em meio ao ruído: A importância de olhar além do audiograma

Por mais de 100 anos, a única medida diagnóstica usada para ajustar aparelhos auditivos foi o audiograma de tons puros. O audiograma serviu e continua a nos servir bem para caracterizar a capacidade de um possível usuário de aparelho auditivo de ouvir sons suaves - ou a falta dessa capacidade. A partir do audiograma, o profissional de saúde auditiva (HCP) pode tratar adequadamente as questões relacionadas à audibilidade na adaptação do aparelho auditivo. No entanto, todo HCP sabe que perda auditiva é muito mais do que falta de audibilidade. Em particular, a perda auditiva afeta a capacidade de entender a fala na presença de ruído de fundo, mesmo quando a audibilidade foi devidamente compensada (Lopez-Poveda, 2014). Essa não é uma constatação nova. Há quase meio século, Plomp (1978; 1986) sugeriu um modelo para a compreensão da fala no ruído com dois fatores prejudiciais independentes para a inteligibilidade da fala: audibilidade e distorção. Esses dois fatores contribuem para a necessidade de uma maior relação sinal-ruído (SNR) para entender a fala em meio ao ruído. Outros pesquisadores encontraram apoio para o modelo de dois fatores de Plomp, por exemplo, no sentido de que a audibilidade sozinha (limiares de tom puro) foi capaz de explicar apenas 50% da variação no desempenho da fala com ruído (Smoorenburg, 1992). Aqui, no contexto do teste de Limiar de Contraste Audível (ACT), usaremos os termos "perda de audibilidade" e "perda de contraste" para abranger os conceitos de audibilidade e distorção de Plomp, respectivamente. A perda de audibilidade está bem estabelecida e é medida com o audiograma. Perda de contraste é um termo novo que se refere à quantidade de contraste que uma pessoa precisa ter entre a fala desejada que ela quer ouvir e os sons de fundo indesejados. Portanto, se uma pessoa tiver uma perda de contraste grave, ela precisará de um SNR melhor para ter um desempenho semelhante ao de uma pessoa com uma perda de contraste leve. Até o momento, não havia uma medida clínica padrão para a perda de contraste.

Para compensar os problemas de audição no ruído ou perda de contraste, os aparelhos auditivos modernos usam uma poderosa tecnologia de auxílio no ruído (Jensen &

Pedersen, 2015; Andersen et al., 2021). Essa tecnologia é altamente ajustável no software e, portanto, em princípio, é capaz de fornecer diferentes "níveis de auxílio" no ruído para cada usuário. No entanto, atualmente não existe uma maneira objetiva e baseada em evidências de selecionar o nível de auxílio adequado para o indivíduo. Portanto, os recursos de auxílio no ruído geralmente são deixados em suas configurações padrão moderadas. Isso representa oportunidades perdidas, principalmente para os usuários de aparelhos auditivos que realmente têm dificuldade para ouvir em ambientes ruidosos e que se beneficiariam muito com as configurações mais fortes disponíveis. Existem oportunidades semelhantes na outra extremidade do espectro, em usuários com capacidade quase normal de compreensão da fala em meio ao ruído (uma vez que a audibilidade tenha sido resolvida). Para esses usuários, pode ser melhor usar uma configuração moderada dos recursos de auxílio no ruído para oferecer uma cena sonora menos processada também em situações que a maioria dos outros usuários de aparelhos auditivos consideraria desafiadoras. Assim, seria muito útil um teste diagnóstico objetivo que possa informar antecipadamente o HCP sobre as habilidades individuais de compreensão da fala no ruído com aparelho. Além dos possíveis benefícios prescritivos mencionados acima, essa previsão da capacidade de compreensão da fala no ruído também seria útil para o aconselhamento, o estabelecimento de expectativas para o resultado com os aparelhos auditivos e para a recomendação de auxílio adicional, como dispositivos auditivos auxiliares, estratégias de comunicação e treinamento auditivo. Novamente, essa não é uma ideia nova. Por várias décadas, os pesquisadores têm procurado esse teste de diagnóstico, mas até recentemente com sucesso muito limitado (Strelcyk & Dau, 2009; Johannesen et al., 2014; Thorup et al., 2016). Isso começou a mudar no início da década de 2010, quando foram publicados artigos científicos mostrando altas correlações até então inéditas entre medidas de desempenho na fala em meio ao ruído e os chamados limiares de detecção de modulação espectro-temporal (STM) (Bernstein et al., 2013; Mehraei et al., 2014) em participantes com perda auditiva.

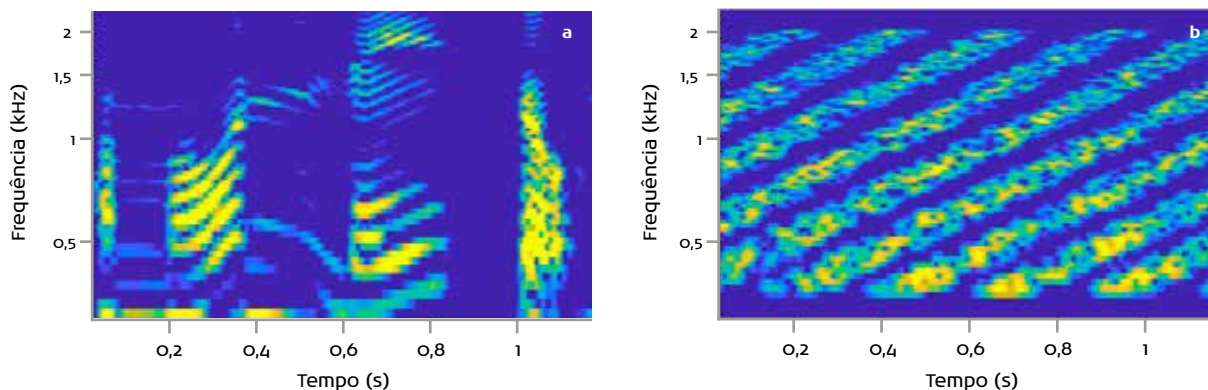


Figura 1: Espectrogramas de (a) uma frase isolada em dinamarquês do teste Hearing In Noise Test (HINT, Nielsen & Dau, 2011) e (b) um estímulo STM/ACT com modulação espectro-temporal máxima imposta.

As modulações espectro-temporais são intrínsecas aos sinais de fala, e as modulações usadas nos testes de STM são semelhantes às encontradas na fala, embora de forma estilizada. Veja exemplos de fala real e espectrogramas de estímulo STM na Figura 1.

Um limiar de detecção de STM (e, posteriormente, um Limiar de Contraste Audível, ou ACT) é encontrado experimentalmente por meio da variação adaptativa do grau de modulação do estímulo, que é apresentado por meio de fones de ouvido ou fones de inserção. A pessoa sendo testada é solicitada a responder a estímulos "alvo" com modulações, comparando-os aos estímulos "referência" sem modulação. O limiar é, então, o menor grau de modulação que a pessoa pode detectar. O pensamento geral é que, se uma pessoa se sai bem no teste ACT (ou, de forma equivalente, na detecção de STM), ela também terá uma boa capacidade de distinguir a fala do ruído de fundo - mesmo quando há muito pouco contraste entre eles. Por outro lado, uma pessoa com resultado ruim no ACT/STM precisará de um contraste maior entre a fala e o ruído de fundo para compreendê-la. O uso do ACT/STM para estimar a capacidade de compreensão da fala no ruído tem a vantagem de que o teste não usa material de fala específico do idioma, mas se baseia em estímulos artificiais. Dessa forma, o ACT/STM pode ser usado com qualquer pessoa em qualquer país, independentemente do idioma.

Apesar dos resultados animadores de Bernstein et al. (2013) e Mehraei et al. (2014), ainda foram observados desafios. Quando o teste STM de Bernstein et al. (2013) foi implantado em um grande estudo clínico na Suécia (Bernstein et al., 2016), cerca de um terço dos participantes testados não conseguiu obter limiares adequados de STM a partir do procedimento de teste adaptativo.

Com base nessa combinação de resultados muito promissores e barreiras consideráveis ao uso clínico, a Interacoustics e a Oticon decidiram embarcar juntas em uma jornada de pesquisa. Os objetivos eram amadurecer o teste STM para liberar todo o seu potencial e, por fim, traduzi-lo em uma ferramenta clínica viável: o teste de Limiar de Contraste Audível (ACT).

Desenvolvimento do teste ACT:

Uma jornada científica

Esta seção descreve uma série de estudos de pesquisa realizados na Unidade de Pesquisa Interacoustics em colaboração com a Universidade Técnica da Dinamarca (DTU). O ponto de partida foi o teste STM proposto por Bernstein et al. (2013; 2016) e o ponto final do teste clínico ACT.

O primeiro estudo (Zaar et al., 2023a) tinha como objetivo principal resolver o "problema do teto" identificada por Bernstein et al. (2016) para permitir que todos os participantes obtivessem um limiar adequado no teste. Para isso, foram introduzidas várias modificações no procedimento do teste:

- O paradigma do teste foi alterado de um modelo de escolha forçada com 2 alternativas (2-AFC) para um modelo com 3 alternativas (3-AFC). No 2-AFC, a tarefa do participante é identificar o estímulo modulado em um par de ordem aleatória composto por um estímulo de referência não modulado e um estímulo-alvo modulado. Dessa forma, o participante precisa memorizar o som do alvo modulado. No 3-AFC, a tarefa é identificar o "intruso" em um trio de estímulos, sendo dois de referência e um estímulo-alvo colocado aleatoriamente. Assim, nenhum conceito específico do som-alvo precisa ser estabelecido, o que facilita a tarefa.
- Cada apresentação de estímulo foi estendida de 0,5 a 1 segundo. Permitir mais tempo para detectar as modulações facilita a tarefa.
- Em vez da apresentação de estímulos monoaurais, como em Bernstein et al. (2013; 2016), os estímulos foram apresentados bilateralmente. Essa modificação foi introduzida principalmente para melhorar a correspondência com cenários reais de escuta da fala em meio ao ruído, em que ambos os ouvidos são normalmente usados. A modificação também contribuiu para facilitar a detecção.
- Por fim, foi introduzida uma modelagem específica por frequência dos estímulos do teste, com base na estratégia "suficientemente audível" proposta por Humes (2007). Esse procedimento leva em conta o audiograma individual e garante que haja, pelo menos, 15 dB de audibilidade em toda a faixa de frequência da estimulação. Veja a ilustração da Figura 2. Além de garantir a audibilidade total, o procedimento também se aproxima da amplificação que os aparelhos auditivos forneceriam para cenários de fala no ruído. A abordagem suficientemente audível contrasta com aquela adotada por Bernstein et al. (2013; 2016), em que os estímulos foram reproduzidos em um nível fixo de intensidade sonora, sem modelagem por frequência. A abordagem de Bernstein não garante total audibilidade nem corresponde à forma como os aparelhos auditivos amplificariam cenários de fala no ruído.

Além de avaliar as mudanças mencionadas introduzidas no paradigma do teste, o estudo examinou diversas variações do STM. Essas variações incluem versões baseadas em um sinal portador de complexo tonal como uma alternativa ao sinal portador estacionário de ruído rosa com banda limitada utilizado até então. Treze participantes com perda auditiva foram recrutados para o estudo e testados nas diferentes variantes do STM, bem como em duas variantes de testes de fala no ruído de nível laboratorial. Especificamente, foi testada uma configuração de fala em meio ao ruído chamada "ecologicamente válida" (Keidser et al., 2020). Nela, frases cotidianas extraídas do Danish Hearing In Noise Test (HINT, Nielsen e Dau, 2011) foram apresentadas contra um fundo de locutores concorrentes apresentados por alto-falantes separados, juntamente com ruído de baixa intensidade com forma semelhante à da fala (ver Figura 6 abaixo). Além disso, os alto-falantes foram instalados em uma sala com reverberação moderada. Coletivamente, isso criou um cenário de escuta mais realista em comparação com a configuração mais padrão, em que a fala-alvo é apresentada com ruído estático e contínuo, ambos do mesmo alto-falante (co-localizados). A última configuração também foi testada para comparação. Em ambas as condições, a audibilidade foi garantida de

forma semelhante à descrita na Figura 2, com amplificação individualizada fornecida aos sinais dos alto-falantes. Assim, os participantes realizaram os testes de fala no ruído com os ouvidos abertos. Os resultados do estudo podem ser resumidos da seguinte forma:

- Todos os participantes do teste obtiveram limiares adequados de detecção de STM em todas as condições testadas, indicando que a questão do teto de Bernstein et al. (2016) foi resolvida com sucesso.
- As correlações entre os limiares de STM e os limiares de recepção de fala no ruído (SRTn) obtidos nas duas variantes do teste de fala no ruído foram consistentemente mais altas para a condição ecologicamente válida do que para a condição padrão com fontes co-localizadas. Assim, ao se dar um grande passo em direção a testes de fala no ruído mais realistas, a relação entre o desempenho no STM e o da fala no ruído com auxílio foi fortalecida. Vale notar que, ao longo deste artigo, a abreviação SRTn refere-se aos limiares de recepção de fala no ruído, ou seja, à SNR necessária para repetir corretamente 50% das frases apresentadas.

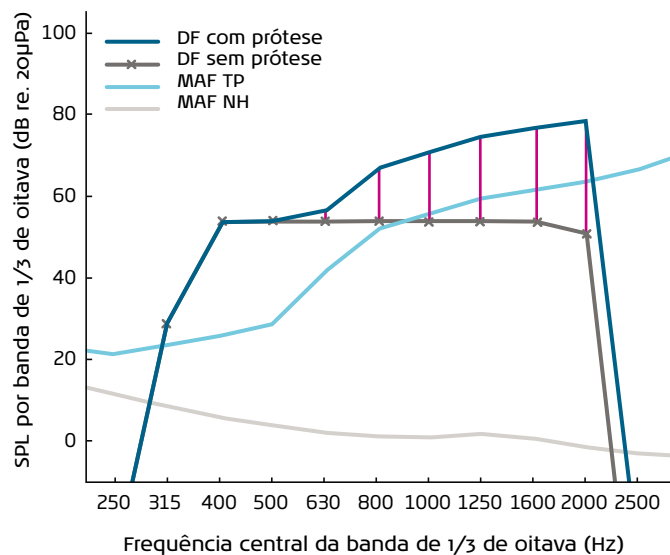


Figura 2: Ilustração do esquema utilizado para garantir a audibilidade total dos estímulos ACT para cada indivíduo. A linha cinza escura mostra o espectro dos estímulos do ACT em nível de pressão sonora (SPL) por banda de 1/3 de oitava, como seriam apresentados a um participante com audição normal (em campo difuso [DF], embora os estímulos sejam, na verdade, apresentados por meio de fones de ouvido). A linha cinza clara representa o limiar auditivo em campo difuso (campo mínimo audível, MAF, ISO389-7) para audição normal, indicando excelente audibilidade dos estímulos do ACT sem auxílio. A linha azul clara indica o limiar auditivo de um participante representativo (TP) com deficiência auditiva, deixando parte dos estímulos do ACT sem auxílio abaixo do limiar para essa pessoa. As linhas verticais em magenta indicam o ganho adicional às frequências centrais de bandas de 1/3 de oitava para garantir 15 dB de audibilidade em toda a faixa de frequência dos estímulos do ACT. Por fim, a linha azul escura mostra o espectro dos estímulos do ACT "suficientemente audíveis" (DF com prótese).

- A relação entre o desempenho no STM e o da fala no ruído com auxílio permaneceu intacta após a introdução de várias modificações no procedimento de teste de STM.

Os dois testes de STM mais promissores do primeiro estudo foram então testados em um novo grupo de 30 usuários de aparelhos auditivos, que também passaram por testes de fala no ruído com a configuração ecologicamente válida (Zaar et al., 2023b). Em relação ao primeiro estudo, a compensação de audibilidade para o teste de STM foi alterada para considerar cada orelha individualmente (a compensação em Zaar et al. [2023] baseava-se em um audiograma médio entre orelha esquerda e direita). Para o teste de fala no ruído, a compensação de audibilidade foi realizada com aparelhos auditivos Oticon Opn adaptados bilateralmente, com configurações prescritas de acordo com a lógica de adaptação proprietária da Oticon, VAC+ (Le Goff, 2015). Os testes de fala foram conduzidos com três configurações do recurso de auxílio no ruído do aparelho auditivo, o OpenSound Navigator (OSN): Desligado (OSN inativo), Médio (configuração padrão de OSN) e Forte (configuração personalizada com intensidade elevada do OSN). Os participantes deste estudo foram recrutados especificamente para abranger uma ampla gama de habilidades de compreensão da fala no ruído. Foi dada ênfase ao recrutamento de participantes com graves desafios de fala no ruído, a fim de testar nossa solução para a questão do teto do primeiro estudo. Em resumo, os resultados foram os seguintes:

- A configuração de estímulo STM preferida, em termos de melhor confiabilidade teste-reteste, foi aquela baseada em um ruído portador de 354-2000 Hz e parâmetros de modulação de 2 ciclos por oitava e 4 Hz de modulação

temporal. Essa é a mesma configuração usada por Bernstein et al. (2016).

- Os SRTn na condição Desligada do teste de fala no ruído com auxílio ecologicamente válido foram bem previstos pelos limiares de STM com $R^2 = 0,61$, enquanto a média tonal do ouvido melhor em 4 frequências (PTA) apresentou $R^2 = 0,51$. STM e PTA forneceram poder preditivo complementar, evidenciado pelo $R^2 = 0,69$ em um modelo de regressão com dois preditores. Assim, a relação entre o desempenho no STM e o da compreensão da fala no ruído com auxílio foi igualmente robusta nesse grupo ampliado de participantes.
- O benefício no SRTn entre as configurações Leve e Forte do OSN foi bem previsto tanto pelo STM ($R^2 = 0,51$) quanto pelo PTA ($R^2 = 0,54$); os dois novamente forneceram informações complementares ($R^2 = 0,64$ em um modelo combinado). Esse resultado forneceu a primeira evidência que sugere como o STM (e, portanto, o ACT) poderia ser usado para prescrever auxílio em ambientes ruidosos. Isso será explorado com mais detalhes adiante.

Implementação clínica final do ACT

Na última etapa da jornada de pesquisa, o paradigma do teste STM descrito acima foi traduzido em uma ferramenta clinicamente viável: o teste de Limiar de Contraste Audível (ACT) (Zaar/Simonsen et al., 2023). O princípio orientador foi criar um procedimento para o ACT que fosse o mais próximo possível daquele do audiograma de tom puro, para facilitar a adoção do ACT pelos profissionais de saúde. Mais especificamente, os requisitos eram (i) reduzir o tempo de teste para algo clinicamente aceitável, (ii) usar apenas o equipamento já disponível em uma clínica típica (fones

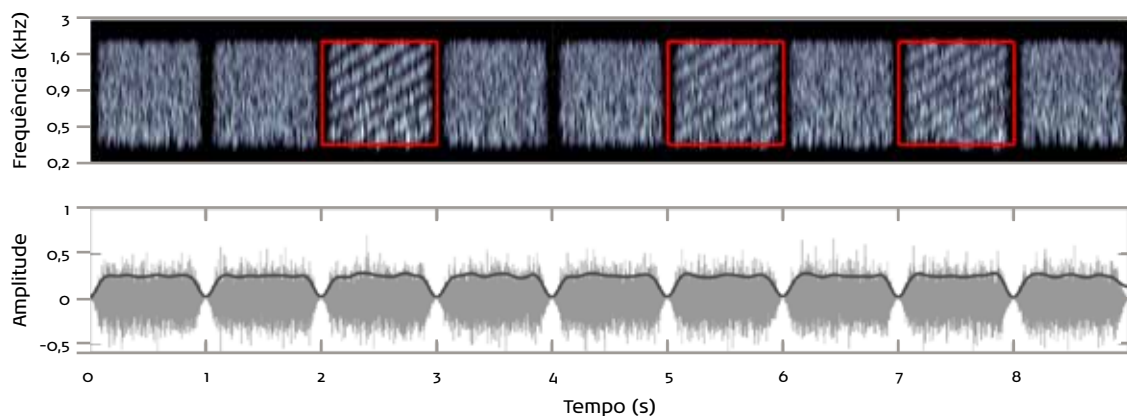


Figura 3: Ilustração do paradigma de teste em ondas utilizado com o ACT, com espectrograma (parte superior) e forma de onda (parte inferior). As ondas-alvo moduladas são indicadas com caixas vermelhas no espectrograma.

de ouvido/ fones de ouvido intra-auriculares e botão de resposta) e (iii) manter as vantagens obtidas com a versão da pesquisa.

No paradigma de teste preferido, uma sequência de "ondas" de estímulo de 1 segundo é apresentada ao participante, com ondas-alvo moduladas aparecendo entre ondas de referência não moduladas, quando ativadas pelo HCP. Ver Figura 3.

O grau de modulação varia de forma adaptativa de acordo com uma regra de 2 para baixo e 1 para cima de Hughson-Westlake, com incrementos de 2 dB. A medição termina quando 3 dos 5 pontos de reversão ascendente são obtidos no mesmo nível de modulação; um exemplo de execução de teste é mostrado na Figura 4a. Em uma etapa subsequente, os pontos de dados dentro da Janela de Candidatos ao Limiar de Hughson-Westlake (TCW, indicada na Figura 4a) são usados para estimar uma função psicométrica, a partir da qual o limiar final é determinado (Figura 4b); consulte (Zaar/Simonsen et al., 2023) para obter detalhes. Esse paradigma de teste foi considerado superior a seus concorrentes investigados em termos de confiabilidade de teste-reteste. Além disso, encontrou-se a melhor concordância com os resultados de referência obtidos no estudo anterior, com a versão de pesquisa do teste.

Para alinhar ainda mais o ACT com o audiograma tonal, foi introduzida uma nova escala de avaliação: a escala de Nível de Contraste normalizado (que já está aplicada

na Figura 4). Para isso, 25 jovens participantes do teste com audição normal foram recrutados e seus limiares de modulação foram determinados com o paradigma de ondas descrito acima. Os resultados foram registrados inicialmente em uma escala técnica de nível de modulação, em que o dB de Escala Total (FS) corresponde à modulação máxima possível. Esses resultados são mostrados na Figura 5, juntamente com a escala proposta de Nível de Contraste normalizado (nCL). A nova escala está alinhada com os dados de modo que o desempenho mediano esteja próximo de 0 dB nCL, ao mesmo tempo em que a grade de teste de 2 dB inclui a modulação máxima em 0 dB FS. Dessa forma, o dB nCL corresponde ao desempenho normal, enquanto os valores positivos de dB nCL indicam algum grau de perda de contraste e valores negativos indicam um desempenho melhor do que o normal. Além disso, em alinhamento com o procedimento do audiograma (no qual os testes são limitados a -10 dB NA), o Nível de Contraste normalizado não é ajustado além de -4 dB nCL, dois passos abaixo de 0 dB nCL. Dessa forma, a escala de Nível de Contraste (dB nCL) utilizada para o ACT quantifica a perda de contraste da mesma forma que a escala de Nível Auditivo (dB HL) quantifica a perda de audibilidade.

Em resumo, o teste ACT foi desenvolvido como uma ferramenta clinicamente viável que permite ao HCP estimar, de forma rápida, conveniente e precisa, o desempenho prospectivo de um indivíduo na compreensão da fala no ruído, em condições nas quais a audibilidade tenha sido adequadamente compensada com a amplificação

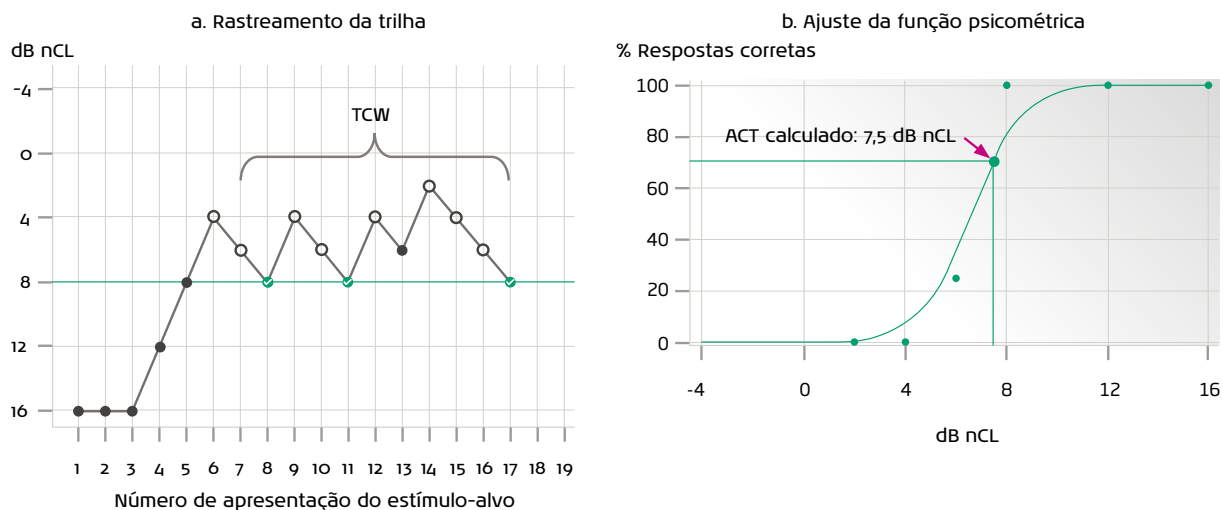


Figura 4: (a) Exemplo de "Rastreamento da trilha" de uma execução do teste ACT. Um símbolo preenchido indica uma apresentação de estímulo-alvo detectada corretamente pelo participante do teste; um símbolo aberto indica um alvo que não foi detectado e os símbolos verdes de "verificado" indicam os três pontos de reversão ascendente iguais que atendem ao critério de Hughson-Westlake. Além disso, a Janela de Candidatos ao Limiar (TCW) está indicada. (b) Ajuste da função psicométrica aos dados contidos na TCW de (a). O resultado final do ACT é determinado no ponto de 70,22% na curva psicométrica, conforme indicado pelas linhas retas.

do aparelho auditivo. Vale notar que o ACT pode ser convenientemente medido logo após o audiograma, quando o participante já estiver usando fones de ouvido ou fones de ouvido intra-auriculares e tiver o botão de resposta em mãos. Assim, essas informações ficam disponíveis logo no início do processo de adaptação e, pela primeira vez, o HCP pode abordar diretamente a queixa número um dos usuários de aparelhos auditivos: ouvir em meio ao ruído (Jorgensen & Novak, 2020; Manchaiah et al., 2021). Além disso, essa abordagem pode se basear em uma medida diagnóstica com uma sólida base de evidências: o ACT. Conforme observado anteriormente, o ACT é útil para aconselhamento, gerenciamento de expectativas quanto aos resultados do aparelho auditivo e para recomendar ajuda adicional em termos de dispositivos de escuta assistida, estratégias de comunicação e treinamento auditivo. No entanto, o uso potencialmente mais poderoso do ACT é a prescrição de configurações dos recursos avançados de auxílio no ruído dos aparelhos auditivos, como será explorado a seguir. Por fim, vale a pena reiterar que o ACT é um teste não específico para um idioma, permitindo que todos sejam testados em qualquer lugar, independentemente do idioma de origem.

Colocando o ACT à prova:

Um estudo clínico em dois locais

Depois que o estímulo e o procedimento do teste ACT foram otimizados para uso clínico, a próxima etapa foi confirmar sua aplicabilidade em populações clínicas reais de usuários de aparelhos auditivos. Em um primeiro estudo clínico internacional conduzido em dois locais, pesquisadores independentes da Alemanha (Universidade de Ciências Aplicadas, Lübeck) e do Japão (Laboratório de Audiologia e Aparelhos Auditivos da Associação Geral Incorporada Shinden-Ogawa, OTO Clinic Tokyo, e Escola de Medicina da Universidade Keio, Tóquio; Hospital Saiseikai Utsunomiya, Utsunomiya) mediram os valores de ACT e o desempenho na fala em meio ao ruído em populações diversas de usuários de aparelhos auditivos. Para obter

mais detalhes sobre o estudo, consulte Zaar et al. (2023c). O estudo abordou as seguintes questões de pesquisa:

1. A principal questão da pesquisa era saber se, em dois grupos de usuários reais que passaram por diferentes fluxos clínicos e procedimentos de adaptação (e com dois idiomas nativos muito diferentes), a relação entre os valores de ACT e a compreensão da fala no ruído (observada nos estudos anteriores de caráter mais acadêmico descritos acima) ainda se mantinha.
2. Além disso, o estudo investigou se o ACT poderia aumentar substancialmente a previsão da capacidade de fala no ruído em comparação com o uso apenas do audiograma.

Participantes do estudo

Na primeira parte do estudo, 100 usuários experientes de aparelhos auditivos com perda auditiva leve a severa (faixa média tonal bilateral em 4 frequências): 29 a 79 dB HL, mediana: 51 dB HL, média: 52 dB HL) com idades entre 32 e 79 anos (mediana: 68 anos, média: 66 anos) foram submetidos a uma adaptação padrão com aparelhos auditivos Oticon More 1. Os procedimentos de adaptação para ganho e escolha do acoplamento acústico seguiram a prática mais comum em cada um dos dois locais clínicos. Os 81 participantes alemães foram adaptados com a lógica de ganho NAL-NL2 (Keidser et al., 2011) e a amplificação foi verificada por meio de medições de ouvido real (REM). O acoplamento acústico da orelha foi escolhido conforme prescrito pelo software de adaptação Genie 2. Os 19 participantes japoneses foram submetidos ao método Utsunomiya de reabilitação auditiva para ajuste de ganho (Yamada et al., 2020) e foram adaptados de acordo com as diretrizes da Sociedade Japonesa de Audiologia (Kodera et al., 2016). Seguindo a prática local, todos receberam moldes auriculares personalizados sem ventilação, e medidas REM foram usadas para avaliar a amplificação.

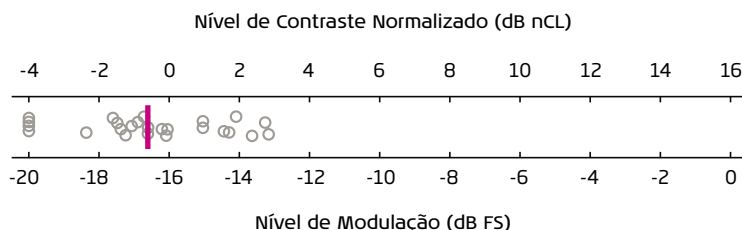


Figura 5: Resultados do estudo normativo com 25 jovens participantes com audição normal, mostrados no eixo inferior em nível técnico de modulação (dB FS) e no eixo superior no Nível de Contraste normalizado proposto (dB nCL). Os círculos cinza representam os dados individuais, enquanto a linha vertical em negrito indica o nível de modulação mediano.

Procedimentos de exame

Após uma avaliação audiométrica padrão, todos os participantes realizaram o teste ACT duas vezes para avaliar sua confiabilidade teste-reteste. O ACT também foi realizado mais duas vezes, aproximadamente seis meses depois, para avaliar a confiabilidade do teste-reteste entre as consultas. Após a adaptação dos aparelhos auditivos, a compreensão da fala no ruído dos participantes foi avaliada enquanto usavam os aparelhos auditivos, por meio de uma versão ecologicamente válida do Hearing in Noise Test (HINT, Nilsson et al., 1994). Aqui, foram usados os corpora alemão (Joiko et al., 2021) e japonês (Shiroma et al., 2008) do HINT. Para tornar a configuração do teste mais próxima de uma situação real de escuta do que os testes tradicionais de fala no ruído (ver Figura 6), mascaradores separados espacialmente foram colocados a 100° e 260° ao redor do participante; cada mascarador consistia em um locutor interferente específico do país misturado com ruído estacionário em forma de fala (SSN). As frases-alvo HINT foram apresentadas pela frente a 0°. Os limiares de recepção de fala no ruído (SRTn) correspondentes a 50% de inteligibilidade das frases foram rastreados para quatro configurações diferentes do recurso avançado de auxílio no ruído da nova geração da Oticon, o MoreSound

Intelligence™ (MSI). Os diferentes níveis de auxílio do MSI em ambientes ruidosos são denominados: Desligado, Baixo, Moderado e Alto.

Para verificar se os níveis de auxílio do MSI realmente proporcionaram quantidades diferentes de melhora da SNR, foram realizadas medições técnicas na configuração ecologicamente válida do HINT mostrada na Figura 6, utilizando um simulador de cabeça e tronco com aparelhos auditivos Oticon More 1. A SNR de saída, ponderada pelo Índice de Inteligibilidade de Fala em banda larga foi calculada utilizando o método de inversão de fase de Hagerman e Olofsson (2004). Os resultados, mostrados na Figura 7, confirmaram que a melhora geral da SNR aumentou com o aumento do nível de auxílio. Vale notar que, para todos os níveis de auxílio, a melhora da SNR fornecida pelo MSI depende da SNR de entrada. Isso significa que o MSI adapta o grau de processamento aplicado à complexidade da cena sonora em questão, de modo que mais aprimoramento de SNR é aplicado progressivamente à medida que a cena sonora se torna mais complexa (ou seja, com SNRs de entrada mais baixos, conforme Figura 6).

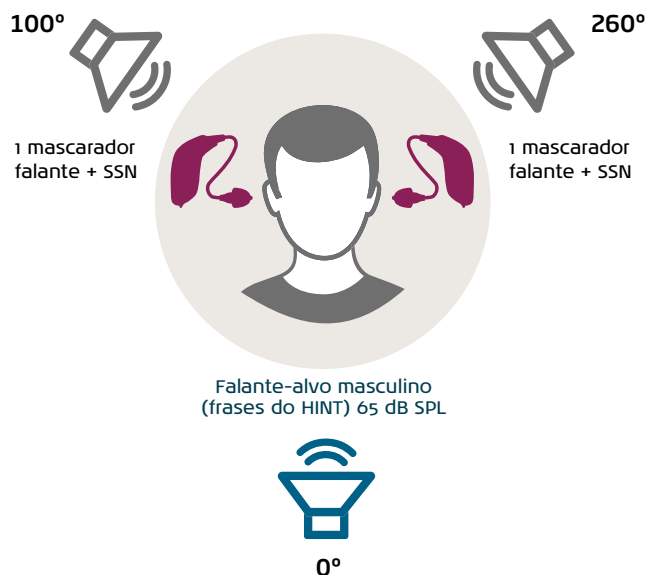


Figura 6: Configuração ecologicamente válida do HINT para medir a compreensão da fala no ruído, com um falante-alvo posicionado à frente e falantes interferentes misturados com ruído em forma de fala (SSN) nas laterais.

Resultados: Relação entre o ACT e a compreensão da fala no ruído

Nossa principal questão de pesquisa era saber se a relação significativa entre os valores de ACT e a compreensão da fala no ruído, observada em estudos anteriores, também estaria presente nas populações clínicas mais diversas testadas neste estudo. Para responder a essa pergunta, calculamos a correlação entre os valores de ACT dos participantes e seus SRTn na condição Desligado, ou seja, quando apenas a amplificação era fornecida nos aparelhos auditivos e o MSI estava desativado. Entre todos os 100 participantes, a correlação foi altamente significativa ($p < 0,001$) e de tamanho semelhante às correlações obtidas em estudos anteriores com predecessores do ACT, com um coeficiente de correlação de Pearson $r = 0,70$. É importante ressaltar que a correlação permaneceu altamente significativa quando calculada separadamente para os participantes alemães ($r = 0,67$, $p < 0,001$) e para os participantes japoneses ($r = 0,85$, $p < 0,001$). Esses resultados confirmaram que o ACT é um indicador significativo da capacidade de compreensão da fala no ruído em ambientes ecologicamente válidos quando os usuários de aparelhos auditivos recebem apenas

amplificação em seus aparelhos. Além disso, é de se esperar que isso se mantenha em populações clínicas com diferentes idiomas nativos e cujo ganho seja ajustado e o acoplamento acústico escolhido com base em diferentes filosofias de adaptação.

Tendo estabelecido que o ACT estava significativamente relacionado à capacidade de compreensão da fala no ruído, a análise seguinte investigou se o uso do ACT poderia levar a uma previsão melhor dessa capacidade do que o uso exclusivo do audiograma. Os resultados de uma análise de regressão multivariada, ilustrados na Figura 8, mostraram que o ACT foi o preditor mais forte e mais significativo dos SRTn dos usuários ($R^2 = 0,49$, $p < 0,001$), enquanto a média tonal em 4 frequências entre as orelhas (PTA) foi um preditor moderadamente forte e significativo ($R^2 = 0,40$, $p < 0,001$) e a idade foi um preditor fraco, mas ainda significativo ($R^2 = 0,04$, $p = 0,043$). Assim, o ACT sozinho poderia explicar 49% da variância nos SRTn dos usuários. Combinando o ACT com os dois outros preditores significativos acima (PTA e idade), foi possível explicar 59% da variância nos SRTn dos usuários, o que é muito mais alto do que o obtido apenas com o audiograma (40%).

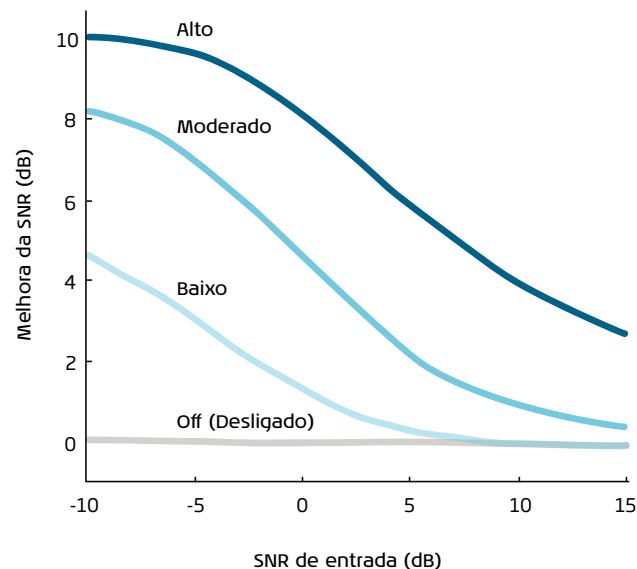


Figura 7: Melhora da SNR proporcionada pelo MoreSound Intelligence para os quatro níveis de auxílio no ruído testados (Desligado, Baixo, Moderado, Alto), medida com um simulador de cabeça e tronco na configuração de teste mostrada na Figura 6.

A combinação dos valores de ACT com a PTA (e, em uma extensão muito menor, com a idade) é, portanto, clinicamente significativa para prever com mais precisão a capacidade de compreensão da fala no ruído de um indivíduo. Para ilustrar isso com mais detalhes, a Figura 9 mostra a relação entre os SRTn de 100 participantes (com base em seus audiogramas, valores de ACT e idade) e seus SRTn reais medidos durante o uso de aparelhos auditivos somente com amplificação (nível de auxílio Desativado). A correlação entre os valores previstos e medidos foi altamente significativa ($p < 0,001$), com um coeficiente de correlação de Pearson de 0,76. Essa correlação também foi altamente significativa quando calculada separadamente para os participantes alemães ($r = 0,80$, $p < 0,001$) e para os participantes japoneses ($r = 0,71$, $p < 0,001$).

Resultados: Confiabilidade teste-reteste do ACT

Entre os usuários de aparelhos auditivos neste estudo, o desvio padrão teste-reteste intra-indivíduo do paradigma ACT foi de 0,96 dB dentro da mesma consulta e de 1,45 dB entre consultas. Em comparação, o desvio padrão teste-reteste do HINT foi de 0,92 a 0,95 dB na mesma consulta entre participantes com deficiência auditiva (Nielsen & Dau, 2011; Laugesen et al., 2013). O coeficiente de correlação intraclasse entre as duas medições do ACT realizadas no mesmo dia foi de 0,95, indicando ainda uma excelente confiabilidade. Essa alta confiabilidade teste-reteste do ACT significa que basta realizar o teste uma vez para obter um valor de ACT confiável e clinicamente significativo. O tempo

médio de teste no estudo foi de 100 segundos, o que confirma que o ACT é um teste rápido e confiável para uso clínico, que pode levar apenas alguns minutos, incluindo instruções e aconselhamento.

A primeira prescrição de auxílio no ruído para aparelhos auditivos baseada no ACT

Com base nos resultados do estudo clínico multicêntrico descrito acima, desenvolvemos uma primeira prescrição de configurações de auxílio no ruído baseada no ACT, compatível com aparelhos auditivos Oticon nas plataformas Polaris R e mais recentes (ou seja, Oticon Real e posteriores), especificamente projetada para fornecer um primeiro ajuste otimizado das configurações do MSI para usuários individuais. A prescrição considera os três preditores mais significativos da capacidade de compreensão da fala no ruído, conforme observado no estudo clínico: o valor de ACT como fator principal, a PTA como segundo fator relevante e a idade como contribuinte secundária. Conforme ilustrado na Figura 10, o nível de auxílio no ruído prescrito para um usuário de determinada idade, com um valor de ACT disponível, dependerá da gravidade da perda de contraste (medida pelo ACT) e da perda de audibilidade (avaliada pelo audiograma). Isso fornecerá ao fonoaudiólogo um ponto de partida mais preciso, objetivo e personalizado para os ajustes disponíveis na tela do MoreSound Intelligence, no software de adaptação Genie 2, para as funcionalidades MSI que mais contribuem para fornecer contraste entre fala e ruído.

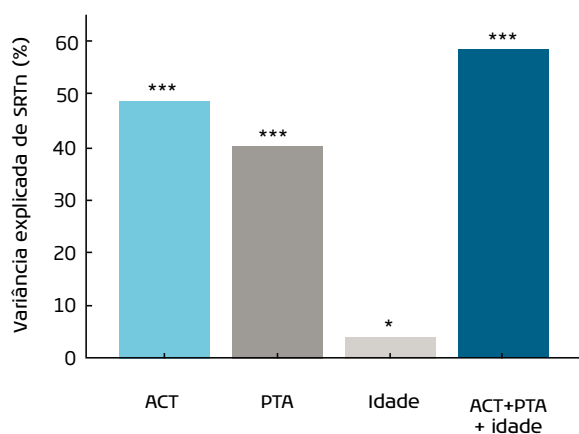


Figura 8: Porcentagem da variância nos SRTn explicada por ACT, PTA e idade, usados isoladamente ou em combinação.

*** Modelo com significância estatística forte ($p < 0,001$).

* Modelo com significância estatística fraca ($p < 0,05$).

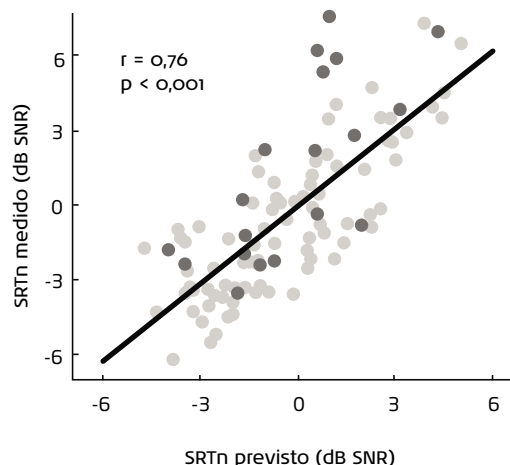


Figura 9: Relação entre os SRTn de 100 usuários de aparelhos auditivos previstos com base em seus audiogramas, valores de ACT e idade, e seus SRTn reais medidos durante o uso de aparelhos auditivos somente com amplificação (nível sem auxílio). Os participantes alemães e japoneses são indicados por círculos cinza claro e cinza escuro, respectivamente.

Resultados: Benefícios do uso de uma prescrição de auxílio no ruído baseada no ACT

Por fim, queríamos verificar se é realmente possível usar essa primeira prescrição personalizada das configurações de auxílio no ruído do MSI para fornecer o nível adequado de contraste entre fala e ruído, de acordo com o grau de capacidade de compreensão da fala no ruído de cada usuário. Para testar isso, primeiro utilizamos a fórmula de prescrição definida com base no ACT, na PTA e na idade para classificar os usuários do estudo clínico multicêntrico descrito anteriormente em três grupos:

- Um primeiro grupo com boa capacidade de compreensão da fala no ruído.
Aos 15 usuários desse grupo foi prescrito um nível de auxílio MSI inferior ao padrão, em direção à curva "Baixo", apresentada na Figura 7.
- Um segundo grupo com capacidade razoável de compreensão da fala no ruído. Os 51 usuários desse grupo receberam a prescrição do nível padrão (moderado) de auxílio MSI, correspondente à curva "Moderado", apresentada na Figura 7.
- Um terceiro grupo com capacidade ruim de fala no ruído. Os 34 usuários desse grupo receberam a prescrição de um nível de auxílio MSI mais alto do que o padrão, em direção à curva "Alto", apresentada na Figura 7.

Em seguida, comparamos como os SRTn desses três grupos de usuários mudaram quando medidos com 4 níveis

diferentes de auxílio MSI (Desligado, Baixo, Moderado e Alto), correspondendo aos diferentes níveis de auxílio ilustrados na Figura 7. Esses SRTn são mostrados na Figura 11. A área cinza na figura mostra a faixa de desempenho de jovens ouvintes com audição normal sem auxílio. Idealmente, a "dosagem" correta de auxílio no ruído nos aparelhos auditivos deve ser suficiente apenas para trazer os usuários para dentro dessa faixa, de modo que sua compreensão da fala no ruído fique dentro da faixa de audição normal, sem a necessidade de processar o som recebido mais do que o necessário para cada usuário.

- Para o grupo de usuários com boa capacidade de compreensão da fala no ruído (painel esquerdo), o nível de auxílio MSI Baixo é suficiente para alcançar a faixa de audição normal.
- Para o grupo de usuários com capacidade razoável de compreensão da fala no ruído (painel do meio), o nível de auxílio Baixo não é suficiente, e o nível de auxílio MSI Moderado padrão é necessário para trazer os usuários para dentro da faixa de audição normal.
- Para o grupo de usuários com pouca capacidade de compreensão da fala no ruído (painel direito), o nível de auxílio MSI Alto é necessário para aproximar os usuários o máximo possível da faixa de audição normal. O fato de ainda haver alguma lacuna para atingir o desempenho normal nesse grupo ressalta a importância de fornecer a esses usuários o máximo de auxílio possível em situações complexas de fala no ruído.

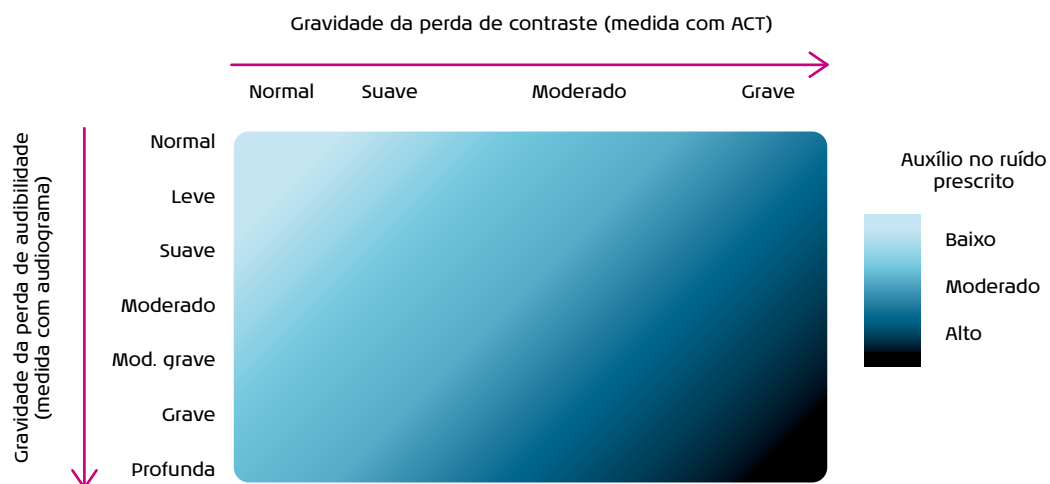


Figura 10: Ao usar uma prescrição baseada no ACT, o nível de auxílio no ruído fornecido a um usuário individual dependerá tanto da perda de audibilidade quanto da gravidade da perda de contraste.

Esses resultados fornecem evidências de um benefício objetivo na prescrição de diferentes níveis de auxílio em meio ao ruído com base no ACT, no audiograma e na idade. Eles demonstram que estimar a perda de contraste de um usuário com o ACT é clinicamente útil para a adaptação de aparelhos auditivos, além de estimar sua perda de audibilidade com o audiograma. O ACT ajuda a determinar, individualmente, quanto contraste adicional entre fala e ruído o aparelho auditivo deve criar para que o usuário tenha uma compreensão da fala no ruído com auxílio suficiente, sem processar a cena sonora de entrada mais do que o necessário. Em outras palavras, o ACT nos permite determinar a dosagem adequada do auxílio adicional no ruído fornecido pelo aparelho auditivo. O ideal é que essa dosagem seja alta o suficiente para permitir que o cérebro do usuário processe a fala no ruído com o mínimo de esforço possível. Ela também não deve ser maior do que o necessário para limitar o risco de efeitos colaterais, pois alguns usuários podem ser mais sensíveis do que outros ao processamento intenso do som recebido.

Uso do ACT para adaptação de aparelhos auditivos na prática

O teste ACT já está disponível nos equipamentos de

diagnóstico das marcas Interacoustics, MedRx e GSI (pergunte ao seu fornecedor local sobre a disponibilidade). Em uma versão futura do software de adaptação Oticon Genie 2, a primeira prescrição baseada em evidências com o ACT será totalmente integrada ao fluxo de adaptação. O profissional de saúde auditiva terá a opção de escolher a personalização baseada no ACT. Se um valor de ACT estiver disponível no banco de dados do usuário do HCP, ele será lido diretamente pelo software de adaptação. O HCP também terá a opção de inserir manualmente um valor de ACT. As configurações de auxílio no ruído prescritas serão então aplicadas automaticamente à adaptação do aparelho auditivo. Se for escolhida uma adaptação baseada no ACT, os ajustes iniciais na tela do MoreSound Intelligence no Genie 2 serão ajustados automaticamente para refletir, de forma objetiva, as dificuldades previstas de compreensão da fala no ruído daquele usuário - mantendo-se ajustáveis para ajustes finos, se necessário. Ao utilizar a personalização baseada no ACT, espera-se que cerca de 50% dos usuários de aparelhos auditivos recebam uma configuração de MSI diferente da padrão, proporcionando, assim, um ponto de partida melhor para o auxílio no ruído para uma grande parte dos usuários - especialmente para aqueles com maiores dificuldades em ambientes ruidosos.

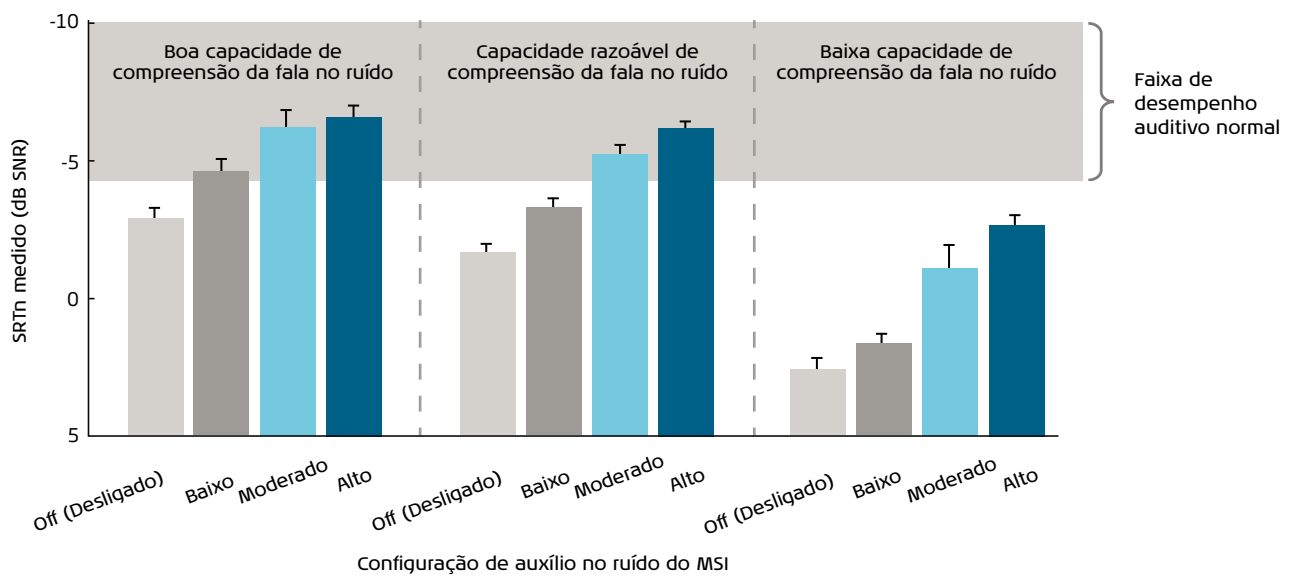


Figura 11: SRTn medidos com 4 níveis diferentes de auxílio MSI em usuários de aparelhos auditivos, classificados em três grupos com base em sua capacidade de compreensão da fala no ruído (SIN), prevista a partir do ACT, da PTA e da idade. A área cinza indica a faixa de desempenho de jovens ouvintes com audição normal sem o uso de aparelhos auditivos. As barras de erro representam o erro padrão da média.

Conclusão

Desenvolvido e otimizado ao longo de mais de uma década de pesquisa científica, o teste de Limiar de Contraste Audível (ACT) é um teste diagnóstico rápido, objetivo e independente de idioma, que auxilia a quantificar a capacidade de compreensão da fala no ruído. Ele pode ser realizado independentemente do idioma nativo ou da proficiência linguística da pessoa, usando o mesmo equipamento diagnóstico utilizado para a audiometria tonal e com um procedimento igualmente simples e acessível para o usuário. O primeiro estudo clínico internacional em larga escala com o ACT confirmou sua relação altamente significativa com o desempenho na fala no ruído em contextos ecologicamente válidos, em diferentes populações clínicas, além de demonstrar seu poder preditivo superior àquele obtido com o audiograma isolado. Embora o audiograma seja atualmente utilizado principalmente para prescrever o ganho dos aparelhos auditivos, a adição de uma única medição do ACT agora permite uma prescrição objetiva e baseada em evidências de recursos avançados de auxílio no ruído. Nos aparelhos auditivos Oticon da plataforma Polaris R em diante, a integração da primeira regra de prescrição baseada no ACT ao software de adaptação Genie 2 permitirá um primeiro ajuste personalizado e automático do processamento avançado de sinais, que oferece contraste entre fala e ruído. Com o ACT, os profissionais de saúde auditiva têm uma ferramenta confiável para abordar, tanto no processo diagnóstico quanto na adaptação, a queixa número um das pessoas com perda auditiva: a audição em ambientes ruidosos.

Agradecimentos

Gostaríamos de agradecer aos nossos colaboradores científicos da Universidade de Ciências Aplicadas de Lübeck, Kaoru Ogawa (Laboratório de Audiologia e Aparelhos Auditivos da Associação Geral Incorporada Shinden-Ogawa (GIASO), OTO Clinic Tokyo (OTO), Escola de Medicina da Universidade Keio (KU)), Seiichi Shinden (GIASO, OTO, KU, Hospital Saiseikai Utsunomiya (SUH)), Takanori Nishiyama (GIASO, OTO, KU), Tsubasa Kitama (GIASO, OTO, KU) e Daisuke Suzuki (GIASO, OTO, KU, SUH) por suas inestimáveis contribuições para a pesquisa apresentada neste artigo, bem como os seguintes colegas da Demant: Johannes Zaar, Lisbeth Birkelund Simonsen, Gary Jones, Chiemi Tanaka, Raul Sanchez Lopez, Marianna Vatti, e Thomas Behrens.

Referências

- Andersen, A. H., Santurette, S., Pedersen, M. S., Alickovic, E., Fiedler, L., Jensen, J., & Behrens, T. (2021). Creating clarity in noisy environments by using deep learning in hearing aids. *Seminars in Hearing* 42(3), 260-281.
- Bernstein, J. G. W., Mehraei, G., Shamma, S., Gallun, F. J., Theodoroff, S. M., & Leek, M. R. (2013). Spectrotemporal modulation sensitivity as a predictor of speech intelligibility for hearing-impaired listeners. *J. Am. Acad. Audiol.* 124(4), 293-306.
- Bernstein, J. G. W., Danielsson, H., Hällgren, M., Stenfelt, S., Rönnberg, J., & Lunner, T. (2016) Spectrotemporal modulation sensitivity as a predictor of speech-reception performance in noise with hearing aids. *Trends in Hearing* 20, 1-17.
- Hagerman, B., & Olofsson, Å. (2004). A method to measure the effect of noise reduction algorithms using simultaneous speech and noise. *Acta Acustica United with Acustica*, 90(2), 356-361.
- Humes, L. E. (2007) The contributions of audibility and cognitive factors to the benefit provided by amplified speech to older adults. *J. Am. Acad. Audiol.* 18, 590-603.
- Jensen, J., & Pedersen, M. S. (2015). Analysis of beamformer directed single-channel noise reduction system for hearing aid applications. 2015 IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP), 5728-5732.
- Johannesen, P. T., Pérez-González, P., Lopez-Poveda, E. A. (2014). Across-frequency behavioral estimates of the contribution of inner and outer hair cell dysfunction to individualized audiometric loss. *Frontiers in Neuroscience* 8.
- Joiko, J., Bohnert, A., Strieth, S., Soli, S. D., & Rader, T. (2021). The German hearing in noise test. *Int. J. Audiol.* 60(11), 927-933.
- Jorgensen, L., & Novak, M. (2020). Factors influencing hearing aid adoption. *Seminars in Hearing* 41(1), 6-20.
- Keidser, G., Naylor, G., Brungart, D. S., Caduff, A., Campos, J., Carlile, S., Carpenter, M. G., Grimm, G., Hohmann, V., Holube, I., Launer, S., Lunner, T., Mehra, R., Rapport, F., Slaney, M., & Smeds, K. (2020). The quest for ecological validity in hearing science: What it is, why it matters, and how to advance it. *Ear and Hearing* 41, 55.
- Keidser, G., Dillon, H., Flax, M., Ching, T., & Brewer, S. (2011). The NAL-NL2 prescription procedure. *Audiology Research* 1(1), e24.
- Kjems, U., & Jensen, J. (2012). Maximum likelihood based noise covariance matrix estimation for multimicrophone speech enhancement. 2012 Proceedings of the 20th European signal processing conference (EUSIPCO), 295-299.
- Kodera, K., Hosoi, H., Okamoto, M., Manabe, T., Kanda, Y., Shiraiishi, K., ... & Ishikawa, K. (2016). Guidelines for the evaluation of hearing aid fitting (2010). *Auris Nasus Larynx* 43(3), 217-228.
- Laugesen, S., Rønne, F. M., Jensen, N. S., & Sorgenfrei, M. G. (2013). Validation of a spatial speech-in-speech test that takes signal-to-noise ratio (SNR) confounds into account. *Proceedings of the International Symposium on Auditory and Audiological Research* 4, 397-404.
- Le Goff, N., Jensen, J., Pedersen, M. S., & Callaway, S. L. (2016). An introduction to OpenSound Navigator. Artigo da Oticon. Acessado de oticon.global/evidence.
- Lopez-Poveda, E. A. (2014). Why do I hear but not understand? Stochastic undersampling as a model of degraded neural encoding of speech. *Front. Neurosci.* 8, 348.
- Manchaiah, V., Picou, E. M., Bailey, A., & Rodrigo, H. (2021). Consumer ratings of the most desirable hearing aid attributes. *J. Am. Acad. Audiol.* 32(8), 537-546.
- Mehraei, G., Gallun, F. J., Leek, M. R., & Bernstein, J. G. W. (2014). Spectro-temporal modulation sensitivity for hearing-impaired listeners: Dependence on carrier center frequency and the relationship to speech intelligibility. *J. Acoust. Soc. Am.* 136(1): 301-316.

Nielsen, J. B., & Dau, T. (2011). The Danish hearing in noise test. *Int. J. Audiol.* 50(3), 202-208.

Nilsson, M., Soli, S. D., & Sullivan, J. A. (1994). Development of the Hearing in Noise Test for the measurement of speech reception thresholds in quiet and in noise. *J. Acoust. Soc. Am.* 95(2), 1085-1099.

Plomp, R. (1978). Auditory handicap of hearing impairment and the limited benefit of hearing aids. *J. Acoust. Soc. Am.* 63(2), 533-549.

Plomp, R. (1986). A signal-to-noise ratio model for the speech reception threshold of the hearing impaired. *J. Speech Hear. Res.* 29(2), 146-154.

Shiroma, M., Iwaki, T., Kubo, T., & Soli, S. (2008). The Japanese hearing in noise test. *Int. J. Audiol.*, 47(6), 381-382.

Smootenburg, G. F. (1992). Speech reception in quiet and in noisy conditions by individuals with noise-induced hearing loss in relation to their tone audiogram. *J. Acoust. Soc. Am.* 91(1), 421-437.

Strelcyk, O., & Dau, T. (2009). Relations between frequency selectivity, temporal fine-structure processing, and speech reception in impaired hearing. *J. Acoust. Soc. Am.* 125(5): 3328-3345.

Thorup, N., Santurette, S., Jørgensen, S., Kjærboel, E., Dau, T., & Friis, M. (2016). Auditory profiling and hearing-aid satisfaction in hearing-aid candidates. *Danish Medical Journal* 63(10).

Yamada, H., Shinden, S., Ota, H., Suzuki, D., Minami, R., Matsui, Y., ... & Ogawa, K. (2020). Hearing aid outpatient clinic that incorporates Utsunomiya method auditory rehabilitation. *Journal of Otolaryngology of Japan*, 123(12), 1380-1387.

Zaar, J., Simonsen, L. B., Sanchez-Lopez, R., & Laugesen, S. (2023). The Audible Contrast Threshold (ACT™) test: A clinical spectro-temporal modulation detection test. *Acessado de medRxiv*.

Zaar, J., Simonsen, L. B., Dau, T., Laugesen, S. (2023a). Toward a clinically viable spectro-temporal modulation test for predicting supra-threshold speech reception in hearing-impaired listeners. *Hear. Res.* 427: 108650.

Zaar, J., Simonsen, L. B., & Laugesen, S. (2023b) A spectro-temporal modulation test for predicting speech reception in hearing-impaired listeners with hearing aids. *Acessado de psyarxiv.com/5fk6s*.

Zaar, J., Ihly, P., Nishiyama, T., Laugesen, S., Santurette, S., Tanaka, C., Jones, G., Vatti, M., Suzuki, D., Kitama, T., Ogawa, K., Tchorz, J., & Jürgens, T. (2023c). Predicting speech-in-noise reception in hearing-impaired listeners with hearing aids using the Audible Contrast Threshold (ACT™) test. *Acessado de PsyArXiv*.

Science made smarter

A Interacoustics é mais do que soluções de última geração

Nossa missão é clara. Queremos liderar o caminho na audiologia e equilíbrio, através da transformação da complexidade em clareza:

- Desafios em soluções claras
- Conhecimento prático
- Condições médicas invisíveis se tornam tangíveis e tratáveis

Nossa tecnologia avançada e soluções sofisticadas facilitam a vida dos profissionais de saúde.

Continuaremos estabelecendo o padrão para toda uma área. Não para o bem da ciência. Mas para habilitar profissionais a proporcionar um excelente tratamento aos milhões de pacientes em todo o mundo.

Interacoustics.com

Interacoustics A/S

Audiometer Allé 1
5500 Middelfart
Dinamarca

+45 6371 3555
info@interacoustics.com

interacoustics.com



Interacoustics