

“De Repente Eu Vejo...” Eu Estava Desafinado

Feedback Auditivo-Motor, Feedforward e Reconhecimento de Erros Vocais

JEAN CARLOS GORGES¹, ISABEL MONTEIRO DA COSTA², MARIA DA ASSUNÇÃO COELHO DE MATOS³, ISABEL MARIA DE OLIVEIRA ALCOBIA⁴

Resumo: O canto demanda uma constante integração entre informações auditivas e motoras para garantir a precisão da afinação, da qualidade vocal e do controle técnico. No entanto, é comum que o cantor perceba que está “fora do tom” apenas após a emissão vocal. Esse fenômeno, frequentemente ignorado na pedagogia vocal, revela mecanismos neurocognitivos complexos de feedback auditivo-motor e de automonitorização e autorregulação da voz. Este artigo propõe uma análise teórica de como o cérebro reconhece e corrige erros vocais, explorando os circuitos envolvidos na integração auditivo-motora e discutindo porque desvios vocais podem não ser percebidos em tempo real. Serão abordados fatores que influenciam a percepção do erro vocal, como sobrecarga cognitiva, estado emocional e ambiente acústico, bem como as diferenças entre cantores treinados e não treinados na capacidade de reconhecer e ajustar desvios. Por fim, propõem-se estratégias pedagógicas para aprimorar a automonitorização vocal e o uso eficaz do feedback auditivo-motor.

Palavras-chave: Feedback Auditivo-Motor, Auto monitoração, Autorregulação vocal, Precisão de Afinação, Emissão Vocal, Cognição Musical.

“Suddenly I See...” I Was Out of Tune: Auditory-Motor Feedback, Feedforward and Vocal Error Recognition.

Abstract: Singing requires the continuous integration of auditory and motor information to ensure pitch accuracy, vocal quality, and technical control. However, it is common for singers to become aware that they are “out of tune” only after the vocal emission has occurred. This phenomenon—often overlooked in vocal pedagogy—reveals complex neurocognitive mechanisms of auditory-motor feedback, self-monitoring, and vocal self-regulation. This article offers a theoretical analysis of how the brain detects and corrects vocal errors, exploring the neural circuits involved in auditory-motor integration and discussing why vocal deviations may go unnoticed in real time. Factors influencing error perception, such as cognitive overload, emotional state, and acoustic environment, are examined, as well as the differences between trained and untrained singers in their ability to recognize and correct vocal inaccuracies. Finally, pedagogical strategies are proposed to enhance vocal self-monitoring and the effective use of auditory-motor feedback.

Keywords: Auditory-Motor Feedback, Self-Monitoring, Vocal Self-Regulation, Pitch Accuracy, Vocal Emission, Musical Cognition

1 Universidade de Aveiro – UA – Aveiro, PT
E-mail: jeangorges@ua.pt
<https://orcid.org/0000-0001-9246-845X>

2 Universidade de Aveiro – UA – Aveiro, PT
E-mail: imonteiro@ua.pt
<https://orcid.org/0000-0002-5205-0101>

3 Universidade de Aveiro – UA – Aveiro, PT
E-mail: maria.matos@ua.pt
<https://orcid.org/0000-0002-8976-0625>

4 Universidade de Aveiro – UA – Aveiro, PT
E-mail: ialcobia@ua.pt
<https://orcid.org/0000-0002-3789-2589>

1.Introdução

“Suddenly I see...” uma frase que, além de famosa na música pop de KT Tunstall¹, traduz com precisão um fenômeno comum na vida de cantores: o momento em que, subitamente, percebemos que nossa emissão vocal não corresponde ao que pretendíamos. Seja um deslize de afinação, um ataque vocal ineficaz ou um ajuste incorreto de registro, o erro muitas vezes só se torna consciente após a sua produção. Esse fenômeno, frequentemente ignorado, revela um aspecto profundo dos mecanismos de automonitoramento auditivo-motor que sustentam o controle vocal (Gärtner & Gutschalk, 2021).

Apesar de toda a sofisticação técnica que um cantor possa desenvolver em relação ao mecanismo de fonação, o cérebro humano, em sua busca pela precisão vocal, depende das respostas dos sistemas neurais dinâmicos que integram feedback auditivo, proprioceptivo² e mecanismos de predição motora chamado feedforward. No entanto, o delay (atraso) entre a emissão e a percepção consciente do erro, indica que o sistema auditivo-motor trabalha constantemente em uma zona de ajuste fino, em que a percepção de estar “fora do tom” emerge de processos complexos que só podem ser identificados depois da emissão (Kervin, 2023a).

Este estudo configura-se como uma revisão narrativa da literatura, com o objetivo de explorar como o cérebro reconhece e corrige desvios de afinação e de ajustes vocais em tempo real, articulando conhecimentos da neurofisiologia com a prática da voz cantada. Diferentemente da revisão sistemática, que se baseia em critérios rigorosos de inclusão e exclusão, a revisão narrativa permite uma abordagem mais flexível, integrativa e crítica, adequada à natureza interdisciplinar do tema. A investigação parte da observação empírica cotidiana do “momento em que percebemos o erro” vocal, buscando compreender os processos neurocognitivos subjacentes à automonitorização vocal e ao feedback auditivo-motor.

A coleta de dados foi realizada por meio de pesquisa bibliográfica em bases de dados reconhecidas, como PubMed, Scopus e Web of Science. Foram utilizados descritores em inglês, isoladamente e combinados, tais como Auditory-Motor

1 Tunstall, K. (2005, agosto 29). Suddenly I see [Canção]. No álbum Eye to the Telescope. Relentless Records.

2 Feedback proprioceptivo é a informação sensorial interna proveniente de músculos, tendões e articulações, que permite ao sistema nervoso central monitorar e ajustar, em tempo real, a posição e o movimento do corpo, sendo essencial para o controle motor fino e a coordenação neuromuscular (Guenther, 2016).

Feedback, Pitch Error Detection, Singing Voice e Vocal Self-Monitoring. Os critérios de seleção priorizaram publicações teóricas e empíricas recentes sobre neurociência da voz, com ênfase em estudos que investigam a relação entre controle auditivo-motor e resposta vocal muscular. Como resultado, além da análise conceitual, são discutidas estratégias pedagógicas fundamentadas em evidências empíricas, com o intuito de aprimorar a escuta ativa e o reconhecimento de erros vocais no processo de aprendizagem do canto.

2. Bases Cognitivas para o Controle da Voz Cantada

Em síntese, através de uma análise descritiva de literatura, observa-se que a regulação da voz falada e cantada baseia-se na ativação coordenada de estruturas cerebrais motoras, auditivas e proprioceptivas que trabalham em conjunto, integram e garantem a precisão vocal (Zarate, 2013). A literatura relacionada aos estudos neuromotores da fala, descrevem a participação das áreas cerebrais de forma consistente e objetiva. A área de Broca, é responsável pelo planejamento motor e pela programação dos movimentos articulatorios, enquanto a Área de Wernicke, atua no processamento e na interpretação dos estímulos auditivos. Ambas as áreas são funcionalmente integradas pelo Fascículo Arqueado, um feixe de fibras que permite a comunicação entre os circuitos de percepção e ação vocal, permitindo que o cantor ajuste a emissão com base na escuta da sua própria voz (Guenther, 2016c).

Além dessas áreas, o córtex motor primário (somático) exerce papel central no controle dos movimentos voluntários necessários à produção vocal (Bradshaw et al., 2025). De acordo com estes mesmos autores, durante o processo do canto, essa região envia comandos motores aos músculos envolvidos no processo de fonação nomeadamente, laringe, faringe, língua, musculatura orofacial e respiratória, coordenando os ajustes finos necessários para a articulação precisa dos sons, bem como o controle da altura (pitch) e da intensidade (loudness) (Pinho et al., 2019). Esse controle motor refinado é viabilizado pela conexão entre o córtex motor e o tronco encefálico mediado pelos nervos cranianos³ Trígêmeo (V), Facial (VII), Vestibulococlear (VIII), Glossofaríngeo (IX), Vago (X) (Bartoskova, 2024) e o Hipoglosso (XII). Por meio destas vias, o córtex motor coordena

3 Para representações anatômicas detalhadas dos nervos cranianos envolvidos na produção da voz cantada, recomenda-se a consulta ao Atlas of Human Anatomy (Frank H. Netter, 2022); Trígêmeo pág. 149, Facial pág. 150, Vestibulococlear pág. 151, Glossofaríngeo pág. 152, vago pág. 153 e Hipoglosso pág. 155.

de maneira estruturada os grupos musculares responsáveis pelo controle da compressão glótica, da resistência vocal e da dinâmica sonora (Guenther, 2016).

Outro componente fundamental nesse circuito é o córtex auditivo, responsável pelo processamento dos estímulos sonoros. Autores como Guenther (2016a) e Neamaalkassis (2025) evidenciam que essa região cerebral permite ao cantor monitorar continuamente a afinação, o timbre e o ritmo da emissão vocal através da decodificação de frequências e intensidades em tempo real através do Feedback Auditivo. Essa função é indispensável tanto para a precisão quanto para a expressividade na performance vocal, pois, permite ajustes imediatos com base no retorno vocal resultado das condições acústicas do ambiente (Guenther, 2016a; Neamaalkassis et al., 2025).

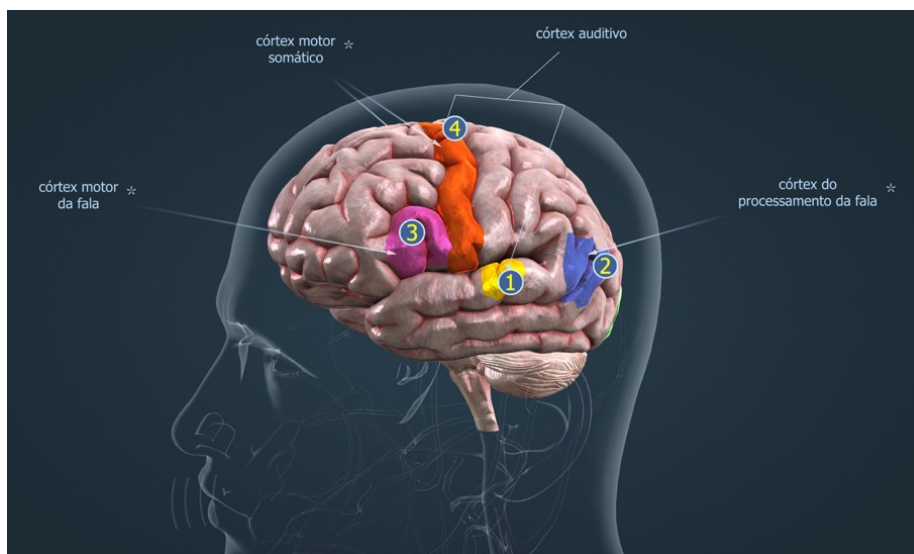
O cerebelo, por sua vez, atua de forma decisiva para o controle motor automático ajustando a sincronia e a suavidade dos movimentos vocais. Segundo Guenther (2016d) e Wang et al. (2025), essa estrutura regula a atividade dos músculos da laringe, língua, lábios e trato vocal, integrando o Feedback Auditivo à execução motora (Guenther, 2016d; Wang et al., 2025). Além disso, o cerebelo é responsável pela manutenção da isometria vocal⁴ – capacidade de sustentação prolongada da contração muscular sem alteração significativa no comprimento das pregas vocais, mecanismo este, essencial para a estabilidade na emissão vocal e controle refinado da pressão subglótica (Belyk & Kotz, 2025; Prakash et al., 2025).

Complementando esse sistema, os gânglios da base têm sido apontados como centrais na modulação do tônus muscular, na fluidez da articulação e na automatização de padrões motores. Krakauer et al (2019) destacam sua importância no ajuste preciso da musculatura laríngea e na manutenção de uma emissão vocal coordenada e estável. Além disso, esses núcleos subcorticais participam ativamente do controle rítmico e dinâmico da voz, permitindo que o cantor se ajuste face as demandas estilísticas da performance. Por meio dos processos de aprendizagem procedimental, os gânglios da base juntamente com o cerebelo, contribuem para o desenvolvimento e refinamento de padrões motores automáticos, promovendo a melhoria contínua da técnica vocal e uma execução artística fluente (Krakauer et al., 2019).

4 (Saxon & Scheider, 1995) descrevem a isometria na voz como a contração muscular estática dos músculos respiratórios e laríngeos, fundamental para manter a estabilidade da pressão subglótica e o fechamento glótico durante o canto, possibilitando o controle refinado de altura e intensidade sem movimento visível.

Imagem 1

Área em amarelo (1) representa o Cortéx Auditivo primário. Área em azul (2) representa a Área de Wernicke. Área em rosa (3) representa a Área de Broca. Área em laranja (4) representa o Cortéx Motor (somático). A porção mais baixa do lado direito representa o Cerebelo.



Nota: Imagem criada pela plataforma Mozaik Education.

3.Feedforward, Feedback e Controle Auditivo-Motor na Voz Cantada

5

O controle vocal depende da interação contínua entre mecanismos de Feedforward e feedback auditivo, articulados em um sistema auditivo-motor dinâmico. O Feedforward refere-se ao planejamento antecipado dos movimentos vocais, em que o cérebro organiza previamente os comandos motores para a produção da nota desejada, ajustando a laringe, o trato vocal e o sistema respiratório antes da emissão (Guzman et al., 2019).

Esse processo é sustentado por modelos internos sensório-motores, que são desenvolvidos e refinados por meio da prática vocal deliberada. Esses modelos permitem que cantores experientes realizem ajustes antecipatórios e precisos de afinação, intensidade e timbre ainda na fase de preparação do gesto vocal. No estudo de (Alemi et al., 2023), por exemplo, foram analisadas alterações na produção vocal em resposta a manipulações de pitch-shifted auditory feedback. Os resultados mostraram que mesmo pequenas variações no retorno auditivo provocam adaptações significativas na emissão vocal, afetando diretamente a qualidade e a estabilidade da afinação. Esses achados reforçam o papel adaptativo do feedback auditivo-motor no controle vocal de cantores experientes. No entanto,

quando o modelo preditivo falha ou não corresponde às condições reais como em situações de estresse ou ambientes acústicos desfavoráveis, o feedback auditivo torna-se essencial para corrigir a performance em tempo real (Guenther, 2016b).

O feedback auditivo é o mecanismo que permite ao cantor monitorar sua própria voz enquanto canta, ajustando a emissão conforme percebe o som produzido. Ele atua continuamente durante a produção vocal, oferecendo informações sobre a afinação, o timbre, a intensidade e o ritmo, e permitindo correções rápidas quando há desvios (Kervin, 2023b). Essa automonitorização ativa envolve a modulação precisa dos músculos da laringe, do trato vocal e do sistema respiratório, integrando a percepção auditiva e a resposta motora de forma coordenada (Harris et al., 2023). A eficácia desse processo depende diretamente do nível de experiência do cantor: cantores treinados desenvolvem um sistema auditivo-motor mais eficiente e conseguem realizar ajustes quase automáticos, enquanto cantores iniciantes tendem a apresentar mais dificuldades em detectar e corrigir erros rapidamente (Guenther, 2016a).

A base desse processo é a interação auditivo-motora, um circuito bidirecional em que o som idealizado pelo cantor é constantemente comparado com o som real emitido. A partir dessa comparação, ajustes musculares são realizados para alinhar a emissão ao modelo desejado. Essa interação ocorre em milésimos de segundo e é mediada por principalmente pelo fascículo arqueado, que conecta as áreas auditivas e motoras do cérebro, possibilitando a rápida comunicação entre o que se ouve e o que se faz (Huang, 2024). Além de corrigir erros, esse sistema regula aspectos expressivos da voz, como o timbre, o vibrato, a dinâmica e o fraseado, permitindo ao cantor adaptar sua performance às exigências artísticas, estilísticas e locais (Brar et al., 2023). O fortalecimento dessa integração auditivo-motora é, portanto, um objetivo central do treinamento vocal, que, por meio de exercícios específicos, desenvolve a capacidade de identificar e corrigir variações na emissão com precisão e agilidade, assegurando maior estabilidade e expressividade mesmo em situações desafiadoras de performance ao vivo (Guenther, 2016e).

4. Suddenly I See: O Reconhecimento do Erro Vocal como processo de Automonitorização e Autorregulação

O reconhecimento do erro vocal é um processo dinâmico e complexo que envolve mecanismos de automonitorização contínua e autorregulação auditivo-motora, permitindo ao cantor ajustar a própria emissão em tempo real (Dai et al., 2022). Esse sistema opera a partir da comparação constante entre o modelo auditivo-motor interno, ou seja, o som idealizado e o som real emitido, possibilitando a detecção e correção de desvios de afinação, timbre e intensidade (Huang, 2024). Entretanto, a identificação consciente de um erro vocal nem sempre ocorre de forma imediata, o que reflete não apenas as limitações fisiológicas do sistema auditivo-motor, mas também a influência de variáveis contextuais, emocionais e cognitivas que modulam a percepção e a resposta ao erro de fato a incluir índices de fadiga vocal e físicas (Desjardins et al., 2025).

A detecção de erros vocais envolve um sistema neurocognitivo complexo que integra percepção auditiva, regulação motora e monitoramento de ações. O córtex cingulado anterior identifica discrepâncias entre o som produzido e o modelo interno idealizado, enquanto o córtex pré-frontal dorsolateral avalia o erro e auxilia no planejamento de correções. Embora esse mecanismo permita ajustes da emissão vocal, o processo não é instantâneo, pois há um tempo neural de processamento que pode atrasar a percepção consciente do erro, levando o cantor a notar o desvio apenas após a emissão (Prakash et al., 2025). A eficácia dessa detecção também depende da capacidade do sistema auditivo-motor de integrar informações em tempo real enquanto gerencia múltiplas demandas do canto, como afinação, articulação e respiração. Sobrecarga cognitiva e fatores contextuais, como ambientes acústicos inadequados ou retorno sonoro deficiente, podem comprometer o feedback auditivo e dificultar a autorregulação vocal. Dessa forma, a percepção e correção de erros resultam de um equilíbrio delicado entre os circuitos neurais e as condições internas e externas que afetam a performance (Bermúdez-de-Alvear et al., 2019).

Adicionalmente, fatores emocionais, como ansiedade de performance, medo de errar e distrações cognitivas, impactam diretamente a eficácia do sistema auditivo-motor, reduzindo a atenção focada na emissão vocal e, assim, atrasando ou distorcendo a percepção do erro (Shembel & Nanjundeswaran, 2025). Dessa forma, a detecção e correção de erros vocais em

tempo real não resultam apenas de processos automáticos do sistema auditivo-motor, mas também dependem de fatores contextuais e emocionais, que modulam o acesso consciente ao feedback auditivo e a capacidade de resposta rápida (Lester-Smith et al., 2023). Portanto, o reconhecimento do erro vocal deve ser entendido como um processo Neurocognitivo integrado, no qual a percepção auditiva, o controle motor e a regulação emocional interagem continuamente (Nussbaum et al., 2025).

5. Diferenças entre cantores treinados e não treinados na detecção do erro

Estudos como o de (Sobol et al., 2020) demonstram que cantores com menor experiência apresentam ativação reduzida do córtex auditivo anterior durante tarefas de entoação, o que dificulta o reconhecimento e a correção de erros vocais. De modo geral, cantores treinados e não treinados diferem significativamente na capacidade de perceber e ajustar desvios de afinação e timbre. Pesquisas relacionadas ao Índice de Desvantagem Vocal indicam que cantores experientes possuem um sistema auditivo-motor mais refinado, com maior capacidade de ajuste vocal em tempo real, resultado do fortalecimento dos circuitos neurais responsáveis pela integração auditiva e motora por meio da prática deliberada (Sales et al., 2019).

Estudos comparativos reforçam que essa habilidade de automonitoramento tende a se automatizar ao longo do tempo: enquanto cantores profissionais realizam ajustes quase instantâneos, iniciantes ainda dependem fortemente da atenção consciente e de esforço cognitivo elevado. Em um estudo com cantores tradicionais iranianos treinados e não treinados, (Hosseiniheshmatian et al., 2024) observou-se que os cantores treinados apresentaram menor distorção de feedback auditivo e maior precisão na emissão vocal, evidenciando o fortalecimento dos mecanismos neurais de detecção de erro promovido pelo treinamento técnico.

Por outro lado, cantores sem treinamento vocal formal tendem a ter maior dificuldade em perceber variações de afinação e timbre, e uma resposta motora mais lenta para realizar correções. A literatura indica que a prática sistemática promove uma sensibilidade auditiva mais apurada, especialmente para pequenas variações de frequência/altura, o que está diretamente

associado à capacidade de realizar correções rápidas e precisas (Carvalho & Ribeiro, 2021).

Dessa forma, o desenvolvimento da habilidade de reconhecer e corrigir erros na emissão vocal está fortemente vinculado ao treinamento vocal estruturado. Isso reforça a importância de abordagens pedagógicas que promovam, desde o início do processo de aprendizagem, tanto o desenvolvimento técnico quanto a escuta crítica e a integração auditivo-motora como competências essenciais ao controle da emissão vocal (Kazi et al., 2023).

6. Integração Teórico-Empírica: Aplicações para a Educação Musical e a Pedagogia do Canto

Com base na revisão narrativa de literatura apresentada, evidencia-se a importância de uma articulação coerente entre cognição musical, neurociência da voz e pedagogia vocal. Tal articulação demanda uma síntese aplicada, capaz de converter os constructos teóricos discutidos em estratégias pedagógicas concretas e eficazes para o desenvolvimento vocal. Nesse contexto, diversas pesquisas empíricas que referenciaram este artigo demonstraram como mecanismos como o feedback auditivo-motor, o reconhecimento de erros vocais e os processos de automonitorização impactam significativamente a aprendizagem do canto, oferecendo subsídios para práticas educativas mais fundamentadas e eficientes.

O estudo conduzido por Neamaalkassis et al. (2025), por exemplo, analisou os efeitos de exercícios auditivos em estudantes de canto com e sem retorno auditivo manipulado. Os resultados indicaram melhora significativa na afinação e estabilidade vocal entre os participantes submetidos ao treinamento com feedback auditivo diferenciado. Esses achados sustentam a importância de estratégias que desafiem e aprimorem a integração sensório-motora.

Patel et al. (2023) também demonstraram que o uso de biofeedback visual em tempo real — como espectrogramas — ajuda alunos iniciantes a desenvolver consciência auditiva e muscular, com efeitos positivos sobre o controle da intensidade vocal e da qualidade do timbre. Tais recursos, ao serem incorporados no ensino, permitem acelerar a internalização do modelo vocal desejado. Adicionalmente, Hakanpää et al. (2019) ressaltaram a eficácia do uso de gravações e escuta crítica na consolidação de padrões motores automáticos. Cantores que revisaram suas próprias gravações com acompanhamento docente mostraram progressos mais rápidos na correção de

desvios de afinação, demonstrando que a autoavaliação vocal assistida pode fortalecer a autorregulação e a automonitorização.

Ainda sob a perspectiva empírica, Bihari et al. (2024) destacaram que a sobrecarga emocional afeta negativamente o reconhecimento de erros vocais. A pesquisa recomenda o uso de simulações de performance e de técnicas de respiração como parte do processo pedagógico, o que contribui para estabilizar o controle vocal sob pressão, tornando o aprendizado mais robusto. Tais evidências demonstram que o ensino do canto pode se beneficiar significativamente de abordagens baseadas nos mecanismos neurocognitivos discutidos. A escuta ativa, a análise em tempo real da emissão vocal e o fortalecimento da relação entre percepção auditiva e resposta motora devem ser incorporados à pedagogia vocal desde os estágios iniciais da formação do cantor. Isso garante não apenas a aquisição técnica, mas o desenvolvimento de uma voz expressiva, adaptável e sustentada por processos automáticos refinados.

Essa síntese teórico-empírica visa, portanto, preencher a lacuna entre o conhecimento neurocientífico e sua aplicação prática na educação musical, promovendo uma pedagogia vocal fundamentada em evidências que favoreça o reconhecimento de erros, a autorregulação e o aprimoramento contínuo da performance vocal.

6.1. Estratégias Pedagógicas para Desenvolver o Feedback Auditivo-Motor e o Reconhecimento de Erros Vocais

O ensino do canto deve contemplar estratégias que desenvolvam não apenas o feedback auditivo-motor, mas também a capacidade do cantor de integrá-lo de forma automatizada à resposta muscular, promovendo uma emissão vocal expressiva e tecnicamente consistente. A escuta ativa, quando aliada ao ajuste motor fino, constitui a base para um sistema auditivo-motor eficaz, capaz de ajustar afinação, timbre e estabilidade sem induzir rigidez muscular ou esforço excessivo (Neamaalkassis et al., 2025). Esse equilíbrio entre percepção auditiva e execução motora é essencial para que o cantor atinja uma naturalidade na emissão, especialmente ao longo do processo de aprendizagem, mesmo quando ainda restrito a um único contexto estilístico (Hakanpää et al., 2019).

Dentre as estratégias mais eficazes nesse desenvolvimento, destacam-se os exercícios de pitch matching com retorno auditivo manipulado, os quais têm demonstrado resultados significativos na detecção de desvios de afinação (Patel et al.,

2023). Esses exercícios desafiam o cantor a ajustar sua emissão a variações sutis, promovendo maior precisão auditiva e refinamento motor (Kervin, 2023a). Associado a isso, o uso de biofeedback visual e auditivo — por meio de softwares de análise espectrográfica e aplicativos com retorno em tempo real — favorece uma escuta analítica mais apurada e permite ao estudante visualizar, em tempo real, os parâmetros acústicos da própria emissão, estimulando correções imediatas e conscientes (Neamaalkassis et al., 2025).

A prática da gravação e escuta crítica também se revela uma ferramenta pedagógica poderosa. Ao registrar e analisar sua própria voz, especialmente sob orientação do professor, o cantor desenvolve seu modelo auditivo interno com maior nitidez. Essa prática permite não apenas a identificação dos desvios, mas também a construção de referências sonoras sólidas. A repetição consciente de padrões vocais corretos sob diferentes condições acústicas, como propõem Hakanpää et al. (2019), contribui ainda para a consolidação de respostas motoras mais automáticas, reduzindo o tempo de reação diante de erros e aumentando a confiança do cantor em situações performáticas.

No entanto, é importante considerar que o feedback auditivo-motor não atua isoladamente e sua eficácia está intimamente ligada ao estado emocional e atencional do cantor. Situações de estresse, como performances públicas, podem comprometer a resposta auditiva e motora, prejudicando a precisão vocal, por isso, o trabalho pedagógico deve integrar também estratégias de autorregulação emocional, como a simulação de contextos performáticos durante o treinamento, a fim de preparar o cantor para manter o controle da emissão mesmo sob pressão (Bihari et al., 2024).

Por isso, estratégias de gestão emocional como técnicas simulações de performance devem ser incorporadas ao treinamento para garantir que o cantor mantenha o controle da emissão mesmo sob pressão ou em ambientes acústicos desafiadores. Dessa forma, o objetivo pedagógico não é apenas ensinar o cantor a perceber e corrigir erros, mas desenvolver uma capacidade integrada que combine escuta refinada, resposta muscular fluida e estabilidade emocional, permitindo uma emissão tecnicamente precisa, mas também expressiva, leve e adaptável às demandas musicais (Patel et al., 2023).

7. Conclusão e Perspectivas de Pesquisas

O presente estudo destacou a importância do feedback auditivo-motor e da automonitorização neurocognitiva como

mecanismos fundamentais para o controle preciso da voz cantada. Embora o reconhecimento de erros vocais seja essencial para a precisão técnica, a análise teórica aqui proposta demonstra que estes processos envolvem interações complexas entre percepção auditiva, controle motor e regulação emocional, indo além de ajustes conscientes (Kadiri et al., 2020). O atraso na percepção de erros como desafinação ou falhas na qualidade vocal, reflete não apenas as limitações temporais dos circuitos neurais, mas também o impacto de fatores como sobrecarga cognitiva, estados emocionais e condições acústicas da performance. Dessa forma, compreender o canto como um fenômeno que integra resposta motora automatizada, feedback auditivo eficiente e controle emocional é crucial para a formação vocal de cantores que buscam equilibrar precisão técnica e fluidez artística (Hakanpää et al., 2019).

Apesar dos avanços teóricos sobre o papel do feedback auditivo na performance vocal, ainda há lacunas importantes no entendimento de como o cérebro de cantores treinados e não treinados processa e corrige erros em tempo real (Hughes & Knowles, 2024). Para aprofundar este conhecimento, futuras pesquisas devem investigar, por meio de estudos por exemplo, com neuroimagem funcional através de Ressonância Magnética Funcional (fMRI), eletroencefalografia (EEG) e eletroglotografia (EGG) para mapear as áreas cerebrais envolvidas no processo de correção vocal e neuromonitoramento e os padrões de ativação neural relacionados ao reconhecimento e correção de erros vocais em diferentes contextos estilísticos (Belyk et al., 2021). Além disso, experimentos que isolem variáveis como qualidade do retorno auditivo, nível de treinamento vocal e demandas emocionais, podem ampliar a compreensão dos desafios enfrentados por cantores em situações reais (Nusseck et al., 2021). Esses achados poderão contribuir para o desenvolvimento de abordagens pedagógicas mais eficazes, que otimizem o treinamento do feedback auditivo-motor, favorecendo um aprendizado vocal mais autônomo, adaptável e alinhado às exigências expressivas da música.

8. Conflitos de Interesse

Não foram encontrados conflitos de interesse.

9. Financiamento

Este artigo é financiado pela FCT - *Fundação para a Ciência e Tecnologia de Portugal* sob registro 2023.03161.BD com o identificador DOI <https://doi.org/10.54499/2023.03161.BD>.

Referências

- Alemi, R., Lehmann, A., & Deroche, M. L. D. (2023). Changes in Spoken and Sung Productions Following Adaptation to Pitch-shifted Auditory Feedback. *Journal of Voice*, 37(3), 466.e1-466.e15. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2021.02.016>
- Belyk, M., Brown, R., Beal, D. S., Roebroek, A., McGettigan, C., Guldner, S., & Kotz, S. A. (2021). Human larynx motor cortices coordinate respiration for vocal-motor control. *NeuroImage*, 239. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2021.118326>
- Belyk, M., & Kotz, S. A. (2025). The right sound at the right time: Cerebellar and ventral striatal involvement in imitating pitch and timing. *Journal of Neurolinguistics*, 74. <https://doi.org/10.1016/j.jneuroling.2024.101243>
- Bermúdez-de-Alvear, R. M., Gálvez-Ruiz, P., Martínez-Arquero, A. G., Rando-Márquez, S., & Fernández-Contreras, E. (2019). Evaluation of Psychometric Properties of Voice Activity and Participation Profile (VAPP): A Spanish Version. *Journal of Voice*, 33(4), 582.e15-582.e22. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2018.01.005>
- Bihari, A., Nárai, Á., Kleber, B., Zsuga, J., Hermann, P., & Vidnyánszky, Z. (2024). Operatic voices engage the default mode network in professional opera singers. *Scientific Reports*, 14(1), 21313. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-71458-4>
- Bradshaw, A. R., Wheeler, E. D., McGettigan, C., & Lametti, D. R. (2025). Sensorimotor learning during synchronous speech is modulated by the acoustics of the other voice. *Psychonomic Bulletin & Review*, 32(1), 306–316. <https://doi.org/10.3758/s13423-024-02536-x>
- Brar, G., Silverstein, E., Zheng, M., Castro, M. E., Goldsworthy, R., Holding, L., & Johns, M. M. (2023). Perceptions of Vocal Performance Impairment in Singers with and without Hearing Loss. *Journal of Voice*, 37(6), 972.e1-972.e8. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2021.06.021>
- Carvalho, C. G. de O., & Ribeiro, M. F. M. (2021). Correlação entre desvantagem vocal e qualidade de vida de cantores populares. *CoDAS*, 33(4), 1–9. <https://doi.org/10.1590/2317-1782/20202019136>
- Dai, B., McQueen, J. M., Terporten, R., Hagoort, P., & Kösem, A. (2022). Distracting linguistic information impairs neural tracking of attended speech. *Current Research in Neurobiology*, 3. <https://doi.org/10.1016/j.crneur.2022.100043>
- Desjardins, M., Jomphe, V., Gilbert, A., Martel-Sauvageau, V., David-Uraz, A., Awan, S. N., & Armony, J. L. (2025). Impact of Respiratory Discomfort on Vocal Quality and Perceived Effort: The Moderating Role of Fear. *Journal of Voice*. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2025.01.034>
- Frank H. Netter. (2022). *Netter Atlas of Human Anatomy: Classic Regional Approach* (8th Edition). Elsevier.

- Gärtner, K., & Gutschalk, A. (2021). Auditory cortex activity related to perceptual awareness versus masking of tone sequences. *NeuroImage*, 228. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2020.117681>
- Guenther, F. (2016). Sequencing of Speech Sounds. In *Neural Control of Speech* (pp. 221–250). The MIT Press. <https://doi.org/10.7551/mitpress/10471.003.0010>
- Guenther, F. H. (2016a). Auditory Feedback Control. In *Neural Control of Speech* (pp. 153–176). The MIT Press. <https://doi.org/10.7551/mitpress/10471.003.0007>
- Guenther, F. H. (2016b). Feedforward Control. In *Neural Control of Speech* (pp. 193–220). The MIT Press. <https://doi.org/10.7551/mitpress/10471.003.0009>
- Guenther, F. H. (2016c). *Neural Control of Speech*. The MIT Press. <https://doi.org/10.7551/mitpress/10471.001.0001>
- Guenther, F. H. (2016d). Neural Structures Involved in Speech Production. In *Neural Control of Speech* (Vol. 1, pp. 37–92). The MIT Press. <https://doi.org/10.7551/mitpress/10471.003.0004>
- Guenther, F. H. (2016e). Somatosensory Feedback Control. In *Neural Control of Speech* (pp. 177–192). The MIT Press. <https://doi.org/10.7551/mitpress/10471.003.0008>
- Guzman, M., Acevedo, K., Leiva, F., Ortiz, V., Hormazabal, N., & Quezada, C. (2019). Aerodynamic Characteristics of Growl Voice and Reinforced Falsetto in Metal Singing. *Journal of Voice*, 33(5), 803.e7–803.e13. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2018.04.022>
- Hakanpää, T., Waaramaa, T., & Laukkanen, A. M. (2019). Emotion Recognition From Singing Voices Using Contemporary Commercial Music and Classical Styles. *Journal of Voice*, 33(4), 501–509. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2018.01.012>
- Harris, I., Niven, E. C., Griffin, A., & Scott, S. K. (2023). Is song processing distinct and special in the auditory cortex? *Nature Reviews Neuroscience*, 24(11), 711–722. <https://doi.org/10.1038/s41583-023-00743-4>
- Hosseiniheshmatian, M., Darouie, A., Hasanvand, A., & Bakhshi, E. (2024). A Comparison of the Dysphonia Severity Index and Singing Voice Handicap Index Between Trained and Untrained Male Iranian Traditional Singers. *Journal of Voice*. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2024.02.032>
- Huang, Y. (2024). Perception and imitation of period-doubled phonation: Pitch and voice quality. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 156(2), 1391–1412. <https://doi.org/10.1121/10.0028193>
- Hughes, D., & Knowles, J. (2024). The technologically mediated voice: Captured and processed contemporary singing. *Journal of Popular Music Education*, 8(2), 219–237. https://doi.org/10.1386/jpme_00143_1
- Kadiri, S. R., Alku, P., & Yegnanarayana, B. (2020). Analysis and classification of phonation types in speech and singing voice. *Speech Communication*, 118, 33–47. <https://doi.org/10.1016/j.specom.2020.02.004>
- Kazi, A. A., Yu, C., Vahidi, N. A., Donnell, C., & Moore, J. E. (2023). Longitudinal Assessment of Singing Students. *Journal of Voice*, 37(1), 145.e19–145.e21. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2020.12.026>

- Kervin, S. R. (2023a). The Key to Singing Off-Key: The Trained Singer and Pitch Perception Distortion. *Journal of Voice*.
<https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2022.12.016>
- Kervin, S. R. (2023b). The Key to Singing Off-Key: The Trained Singer and Pitch Perception Distortion. *Journal of Voice*.
<https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2022.12.016>
- Krakauer, J. W., Hadjiosif, A. M., Xu, J., Wong, A. L., & Haith, A. M. (2019). Motor Learning. In *Comprehensive Physiology* (pp. 613–663). Wiley.
<https://doi.org/10.1002/cphy.c170043>
- Lester-Smith, R. A., Kim, J. H., Hilger, A., Chan, C.-L., & Larson, C. R. (2023). Auditory-Motor Control of Fundamental Frequency in Vocal Vibrato. *Journal of Voice*, 37(2), 296.e9-296.e19.
<https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2020.12.049>
- Neamaalkassis, H., Boubenec, Y., Fiebach, C., Muralikrishnan, R., & Tavano, A. (2025). The fundamental frequencies of our own voice. *Royal Society Open Science*, 12(2). <https://doi.org/10.1098/rsos.241081>
- Nussbaum, C., Frühholz, S., & Schweinberger, S. R. (2025). Understanding voice naturalness. *Trends in Cognitive Sciences*.
<https://doi.org/10.1016/j.tics.2025.01.010>
- Nusseck, M., Immerz, A., Spahn, C., Echternach, M., & Richter, B. (2021). Long-Term Effects of a Voice Training Program for Teachers on Vocal and Mental Health. *Journal of Voice*, 35(3), 438–446.
<https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2019.11.016>
- Patel, S., Hebert, K., Korzyukov, O., & Larson, C. R. (2023). Effects of sensorimotor voice training on event-related potentials to pitch-shifted auditory feedback. *PLOS ONE*, 18(1), e0269326.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0269326>
- Pinho, S. M. R., Korn, G. P., & Pontes, P. (2019). *Músculos intrínsecos da Laringe e Dinâmica Vocal* (3 edição, Vol. 1). Thieme Revinter Publicações Ltda.
- Prakash, P. R., Lei, T., Flint, R. D., Hsieh, J. K., Fitzgerald, Z., Mugler, E., Templer, J., Goldrick, M. A., Tate, M. C., Rosenow, J., Glaser, J., & Slutzky, M. W. (2025). Decoding speech intent from non-frontal cortical areas. *Journal of Neural Engineering*, 22(1), 016024.
<https://doi.org/10.1088/1741-2552/adaa20>
- Sales, C. S., Silva, S. P. da, & Medeiros, A. M. de. (2019). Desvantagem vocal em cantores populares. *Audiology - Communication Research*, 24.
<https://doi.org/10.1590/2317-6431-2018-2057>
- Saxon, K., & Scheider, C. M. (1995). *Vocal Exercise Physiology* (1st ed.). Singular Publishing Group Inc.
- Shembel, A. C., & Nanjundeswaran, C. (2025). Potential Biophysiological Mechanisms Underlying Vocal Demands and Vocal Fatigue. *Journal of Voice*, 39(1), 281.e1-281.e10.
<https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2022.07.017>
- Sobol, M., Sielska-Badurek, E. M., & Osuch-Wójcikiewicz, E. (2020). Normative values for singing voice handicap index – systematic review and meta-analysis. In *Brazilian Journal of Otorhinolaryngology* (Vol. 86, Issue 4, pp. 497–501). Elsevier Editora Ltda.
<https://doi.org/10.1016/j.bjorl.2018.12.004>

- Wang, A., Zhang, W., Chang, C., Tang, X., & Zhang, M. (2025). Long-term exercise training reduced the sound-induced flash illusion in multisensory illusions owing to the cerebellum. *Consciousness and Cognition*, 128, 103805. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2024.103805>
- Zarate, J. M. (2013). The neural control of singing. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00237>