

# Desenvolvimento de um metrônomo adaptado para o ensino de música a pessoas com deficiência auditiva

Samuel Merson<sup>1</sup>, Lauro Stephan<sup>1</sup>, Francisco Medeiros<sup>1</sup>, Alexandre D'Andrea<sup>1</sup>, Radamir Sousa<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratório de Realidade Aumentada e Virtual (LARA).

Instituto Federal de Educação da Paraíba.

Av. Primeiro de Maio, 720 - Jaguaribe, João Pessoa - PB, 58015-435, Brazil

{samuel, lauro, petronio, alexandre.dandrea, radamir.sousa}@ifpb.edu.br

**Abstract.** *Teaching music to people with hearing impairments is a beneficial and challenging activity that can be developed using tools. The present work aims to develop a personalized musical education solution adapted for people who are deaf or hard of hearing in the form of a mobile application. By implementing a metronome and related functions, learners can learn musical aspects such as rhythm, tempo, and meter with synchronized visual, auditory, and vibrotactile feedback. The application will allow integration with wearable devices, such as smartwatches, and will be evaluated using the Technology Acceptance Model (TAM).*

**Resumo.** *O ensino de música para pessoas com deficiência auditiva é uma atividade benéfica e desafiadora que pode ser desenvolvida com o uso de ferramentas. O presente trabalho tem como objetivo desenvolver uma solução personalizada de educação musical adaptada para surdos na forma de um aplicativo para dispositivos móveis. Por meio da implementação de um metrônomo e de funções correlacionadas, os educandos têm a oportunidade de aprender aspectos musicais como ritmo, tempo e compasso com feedback visual, auditivo e vibrotátil sincronizado. O aplicativo possibilitará a integração com dispositivos vestíveis, como smartwatches, e será avaliado utilizando o Modelo de Aceitação de Tecnologia (TAM).*

## 1. Introdução

A música tem sido uma forma de expressão cultural e identitária profundamente enraizada em diversas culturas ao longo de diferentes períodos históricos, desempenhando um papel fundamental na sociedade. Platão, por exemplo, enfatizou que a educação musical é essencial para o desenvolvimento de indivíduos aptos a viver em comunidade, enquanto Aristóteles reconheceu a música como um meio de entretenimento intelectual adequado para o lazer. Boécio, por sua vez, classificou a música como a primeira das sete artes liberais [McCarthy e Goble, 2011].

O aprendizado de um instrumento musical é amplamente reconhecido como benéfico para o desenvolvimento de várias habilidades, especialmente durante a infância e a adolescência. Brown (2012) sugere que a educação musical nessas fases facilita o aprendizado em outras áreas do conhecimento, além de aprimorar competências que são valiosas ao longo da vida. Entre os benefícios atribuídos ao aprendizado musical, destacam-se o desenvolvimento da linguagem, o aumento do quociente de inteligência (QI), a intensificação da atividade neural, a melhoria das habilidades espaço-temporais e

um desempenho superior em testes. O estudo conduzido por Porflitt e Rosas-Díaz (2019) complementa essa literatura, identificando benefícios significativos também para a população adulta que pratica instrumentos musicais, evidenciando uma relação robusta entre o treinamento musical e melhorias no desempenho cognitivo, tanto nas funções executivas quanto em outras áreas da cognição.

## 2. Fundamentação teórica

Estudos recentes indicam que a adoção de métodos pedagógicos específicos é imprescindível para garantir a eficácia dos programas de educação musical destinados a pessoas surdas. A utilização da Língua Brasileira de Sinais (Libras) e a ênfase na percepção corporal e visual da música são destacadas como estratégias cruciais [Silva, 2020]. A educação musical para surdos enfrenta desafios, especialmente a tendência de supervalorizar os aspectos auditivos da música. White (1976) defende a implementação de técnicas que envolvam movimentos corporais e estímulos visuais para engajar os estudantes surdos, enquanto Gibson (2000) argumenta a favor da integração de diferentes sentidos para proporcionar uma experiência musical completa. Hake et al. (2023) ressaltam o impacto positivo da educação musical no desenvolvimento social e emocional de pessoas surdas, oferecendo uma alternativa valiosa para a expressão e comunicação. Lee (2014) sublinha o papel crucial da tecnologia e das abordagens terapêuticas, destacando que, com os recursos adequados, indivíduos surdos podem participar plenamente de atividades musicais. Ainda, enfatiza a importância da qualidade da interação e da relevância pedagógica para que os programas educacionais atinjam seus objetivos, enquanto Araújo e Medeiros (2021) destacam que a correta elicitação e engenharia de requisitos são essenciais para o sucesso no desenvolvimento de software educacional.

O feedback visual desempenha um papel central na garantia de que os usuários compreendam o estado atual do sistema e as ações que estão realizando, conforme afirmam Shneiderman e Plaisant (2004). Em ferramentas similares que não são adaptadas, geralmente entre 20% e 30% da tela é dedicada ao feedback visual; no entanto, no metrônomo acessível desenvolvido neste trabalho, aproximadamente 60% a 70% da tela é destinada a essa função. Essa ênfase é fundamental para fornecer uma ferramenta de aprendizado adaptada, pois, para as pessoas surdas, a visão representa uma estratégia auditiva altamente versátil, e o uso do toque no contexto da musicalização é viável apenas devido à sua dependência contextual de pistas visuais [Holmes, 2017].

A música é uma forma de arte sensorial que muitas vezes é subestimada em sua capacidade de transcender barreiras auditivas. Para indivíduos surdos, a música tradicionalmente centrada no som pode parecer inacessível à primeira vista. Contudo, avanços significativos na tecnologia e na compreensão da percepção sensorial têm aberto novas possibilidades. Entre essas inovações, o feedback vibrotátil destaca-se como uma ferramenta crucial, transformando a experiência musical para pessoas surdas. O feedback vibrotátil utiliza estímulos táteis, como vibrações, para transmitir informações musicais. Essas sensações podem ser aplicadas de diversas maneiras, desde dispositivos portáteis que vibram em resposta a diferentes frequências musicais até

plataformas mais complexas que integram vibrações em ambientes musicais imersivos. De acordo com Murphy (2021), o feedback vibrotátil pode proporcionar uma experiência musical rica e envolvente para indivíduos surdos, permitindo-lhes sentir a música de maneira única e pessoal.

Pesquisas recentes sublinham os benefícios significativos do feedback vibrotátil na inclusão musical de pessoas surdas. Inovações tecnológicas, como as descritas por Karam et al. (1996), permitem a percepção das características rítmicas e melódicas da música por meio de dispositivos táteis, promovendo uma conexão emocional e social através da experiência compartilhada da música [Burn, 2016; Karam et al., 1996]. O metrônomo, tradicionalmente utilizado para ajudar músicos a manter um ritmo constante por meio de sinais sonoros em intervalos regulares, pode ser adaptado para fornecer sinais visuais e táteis, como luzes piscando e vibrações, tornando-o acessível a pessoas surdas. Essas adaptações permitem que os alunos surdos acompanhem o ritmo e o tempo musical de maneira eficaz, sem depender da audição [Murphy, 2022].

Estudos sugerem que os sinais visuais e táteis emitidos pelo metrônomo auxiliam os alunos na internalização do ritmo, facilitando a execução musical precisa. Essa prática é particularmente útil em atividades que exigem sincronização rítmica, como tocar em conjunto com outros músicos [Gorder, 2024]. Além disso, a utilização do metrônomo contribui para a melhoria da coordenação motora dos alunos, pois a necessidade de sincronizar os movimentos corporais com os estímulos visuais ou táteis aprimora a precisão e a coordenação dos gestos musicais. Isso é especialmente relevante para a execução de instrumentos musicais, onde a coordenação precisa entre mãos e olhos é essencial [Arthur et al., 2016].

Um dos principais desafios na implementação do metrônomo na educação musical de pessoas surdas é a necessidade de adaptar o equipamento para atender às necessidades específicas dos alunos. Isso inclui a modificação dos metrônimos tradicionais para emitir sinais visuais e táteis em vez de apenas auditivos. Essas adaptações requerem investimentos em tecnologia e recursos, bem como um entendimento claro das necessidades dos alunos [Dávila & Porto, 2021]. A presença de tecnologias assistivas como esta contribui para a criação de um ambiente educacional mais equitativo e acessível [Vathagavorakul et al., 2024]. No entanto, a implementação eficaz dessas ferramentas demanda investimentos tecnológicos e treinamento adequado para os educadores.

Através da implementação de um metrônomo adaptado, aspectos fundamentais da música, como BPM, tempo e ritmo, podem ser ensinados de forma dinâmica, ao oferecer feedback imediato em diferentes configurações. O tempo é o termo utilizado para designar a velocidade de uma melodia ou ritmo, e o BPM (Batidas Por Minuto) é a unidade de medida comumente usada para representar essa velocidade. Uma batida pode ser entendida como uma unidade temporal de uma composição, e o valor do BPM é representado pelo número de vezes que uma batida ocorre em uma música durante o intervalo de um minuto. O ritmo, por sua vez, apresenta significados variados na literatura entre músicos e musicólogos, mas converge ao representar uma ampla gama de possíveis padrões de duração musical, tanto regulares quanto irregulares.

Abordando o caráter educacional das funcionalidades do aplicativo, a utilização simultânea de diversos estímulos, como luminosidade, elementos visuais, vibrações e sons, justifica-se por favorecer a concentração do usuário, mitigando os limites da memória de curto prazo. A memória de curto prazo refere-se à capacidade de um indivíduo de reter uma quantidade limitada de informações na mente em um estado ativo e prontamente disponível por um breve período de tempo [Marco e Yasir, 2019]. A atenção desempenha um papel fundamental em nosso processo de aprendizagem [Chaves, 2023], e a utilização de múltiplas modalidades sensoriais, como visão, som, sensações táteis, localização espacial e gestos, é uma técnica eficaz para maximizar a concentração e a eficiência da memória de curto prazo [Norman, 2013]. Dessa forma, favorece-se a retenção de informações na memória de longo prazo, potencializando o aprendizado. Como a surdez é um espectro, no qual os indivíduos apresentam diferentes níveis de perda auditiva, a implementação de som no metrônomo é necessária para atingir outros públicos. A combinação de diversos estímulos permite que a aplicação atenda tanto a usuários surdos quanto a cegos e indivíduos sem deficiências.

### **3. Trabalhos Relacionados**

Além dos aspectos técnicos, a adaptação da música por meio do feedback vibrotátil representa um avanço cultural e inclusivo significativo. Projetos como o "MusicAid," discutido por Marschall et al. (2020), exemplificam como a colaboração entre músicos, pesquisadores e comunidades surdas pode não apenas enriquecer a experiência musical individual, mas também fomentar novas formas de expressão artística e culturalmente sensíveis. Em um mapeamento da literatura realizado por Silva et al. (2020), no qual foram analisados 217 artigos sobre educação musical para surdos publicados entre 1956 e 2017, constatou-se uma diminuição nas publicações sobre essa temática, sugerindo um desvanecimento do interesse acadêmico na área. Contudo, também se identificou que, ao longo do período estudado, o foco das pesquisas migrou de estudos sobre o problema da surdez em si para o papel da educação musical na aquisição de competências básicas pelos surdos, diversidade e preconceitos.

Na investigação da eficácia dos metrônimos táteis em comparação com os puramente auditivos, Ammirante et al. (2016) constataram que, se o estímulo tátil for suficientemente proeminente, a precisão da sincronização de um usuário utilizando um metrônomo tátil pode igualar-se à sincronização obtida com um metrônomo auditivo. Essa eficácia pode até ser superada se uma área maior do corpo do usuário for exposta aos estímulos táteis. Em relação à sincronização visual, o experimento conduzido por Gan et al. (2015) demonstrou que a sincronização de usuários expostos a estímulos visuais realistas, como uma bola quicando, foi quase tão precisa quanto a sincronização com um metrônomo auditivo.

Hupke et al. (2019) investigaram o impacto do metrônomo tátil na coordenação motora de alunos surdos, utilizando dispositivos que emitiam vibrações sincronizadas com o tempo musical. Os pesquisadores observaram uma melhoria significativa na precisão dos movimentos dos alunos, destacando a importância das adaptações táteis na prática instrumental, que permitem aos alunos surdos desenvolver habilidades motoras

refinadas. Lima Filho et al. (2024) ressaltam a grande preferência do público surdo por indicativos visuais ao interpretar músicas.

Nosso trabalho avança o estado da arte ao desenvolver um aplicativo de metrônomo digital que incorpora feedback visual, auditivo, vibrotátil e luminoso sincronizado, corroborando as sugestões da literatura sobre a relevância dos estímulos visual e tátil na educação e percepção musical de surdos. Ao oferecer uma experiência sensorial multimodal aos alunos, o aplicativo abre novas perspectivas para o ensino de música, implementando de forma integrada diferentes estímulos positivos que foram validados de modo isolado em outros estudos. Com a integração dessas funcionalidades, proporcionamos uma ferramenta inclusiva que enriquece a experiência musical e educativa dos indivíduos surdos, alinhando-se às melhores práticas recomendadas pela pesquisa acadêmica.

#### **4. Materiais e Métodos**

Optar pela criação de uma aplicação desktop, apesar de potencialmente oferecer outras possibilidades de uso, não se alinhava com o objetivo de proporcionar acesso a este recurso tecnológico educacional ao maior número possível de pessoas. Considerando essa limitação e a familiaridade da equipe com o trabalho em dispositivos móveis que utilizam vibrações e indicadores visuais, além da possibilidade de integração com dispositivos vestíveis (wearables), decidiu-se pela adoção do framework Flutter em conjunto com a linguagem de programação Dart. Outros fatores, como a disponibilidade de bibliotecas, plugins e a escalabilidade do projeto, também foram considerados nessa escolha.

A interface do aplicativo é composta por duas telas, cada uma projetada para maximizar a usabilidade e a facilidade de uso. Embora existam bibliotecas em Flutter que facilitam o desenvolvimento inicial de metrônimos genéricos, optou-se por desenvolver as funções e os temporizadores do zero, visando garantir a modularização e a personalização da aplicação à medida que funcionalidades mais complexas fossem incluídas no escopo de desenvolvimento. O metrônomo base foi construído em uma classe separada das funcionalidades adicionais, como vibrações e luminosidade, para manter a replicabilidade e a coesão do código-fonte. A principal função do metrônomo base é definir as operações fundamentais, tais como iniciar, parar, definir BPM, configurar cliques e calcular os temporizadores com base no BPM.

Quando instanciado como objeto, o metrônomo base pode ser iniciado com as configurações padrão, executando a seguinte rotina ao iniciar: declara uma variável inteira “intervalo” como 60.000 dividido pelo BPM exibido na tela, passa esse resultado por uma função de arredondamento nativa do Dart para garantir que o resultado seja um inteiro e atribui o valor final como a duração em milissegundos de um temporizador periódico, utilizado como intervalo de tempo entre batidas e cliques. A tela inicial é composta por diversos componentes visuais para garantir sua funcionalidade e instancia um metrônomo base, ao qual são atribuídas funções adicionais para controlar aspectos-chave da aplicação, como a vibração. Quando em funcionamento, a aplicação oferece

vibrações, feedbacks visuais, luminosos e sonoros sincronizados com o intervalo de funcionamento das batidas e cliques.

Para manter a sincronização entre todos os aspectos mencionados, o código foi estruturado de modo que, independentemente da configuração de compasso escolhida pelo usuário, toda primeira batida de compasso seja classificada como uma batida especial pelo programa, enquanto as batidas subsequentes são reconhecidas como “cliques”. A batida especial marca o início do ciclo de cada compasso e ajuda a manter a sincronização; entretanto, tanto as batidas quanto os cliques executam uma função de callback interno toda vez que são acionados. A interface da página principal permite ao usuário selecionar quantos compassos e batidas deseja, colocando essa configuração em loop, ou seja, a execução é retomada com mais um ciclo toda vez que os compassos escolhidos se completam.

Para as vibrações, foi utilizada a biblioteca Vibration, versão 1.9.0, que oferece um plugin para simplificar chamadas ao hardware, permitindo personalizar a intensidade e a duração das vibrações. A aplicação verifica se o usuário deseja ou não a ativação das vibrações, permitindo que essa configuração seja alterada dinamicamente durante a execução, e aciona as vibrações com base nos callbacks recebidos enquanto o metrônomo está em funcionamento. Caso a vibração corresponda a um callback de batida especial, calcula-se 80% do intervalo de tempo até o próximo clique ou batida especial como parâmetro para a duração da vibração, e 50% desse tempo caso o callback seja de um clique. Essa janela de tempo é crucial para evitar sobrecarga de chamadas quando as configurações de BPM estão muito altas, garantindo que o usuário consiga distinguir os intervalos.

Os feedbacks visuais seguem a mesma lógica: a cada callback recebido, a aplicação determina a mudança de cor da tela. A diferença neste aspecto reside na transformação da interface: assim que o usuário inicia a execução, a interface muda para uma versão onde todos os elementos, como botões e valores, são excluídos para destacar os ciclos do compasso por meio da cor. Nesse estado, a tela anterior é minimizada para evidenciar as bordas, o plano de fundo e um círculo central que muda de cor de forma sincronizada, restando apenas um pequeno botão de pausa para retornar ao estado inicial. A cada batida especial, uma cor predefinida, atualmente preto, é aplicada, enquanto para os demais cliques as cores são randomizadas. O feedback luminoso utiliza a biblioteca Torch\_Controller, versão 2.0.1, e, a cada callback recebido, a lanterna do dispositivo é acionada, se disponível, pela mesma duração da vibração.

O feedback sonoro utiliza a biblioteca Audioplayers, versão 5.2.1, com duas faixas sonoras curtas, uma para o feedback da batida especial e outra para os demais cliques. A reprodução do áudio é gerida por uma implementação de múltiplos players de áudio, atualmente 10, organizados em formato de fila. Sem uma estrutura de reutilização, intervalos muito curtos entre os callbacks podem causar sobrecarga nos players e interromper o funcionamento da aplicação. Diferentes players não podem ser sobrepostos no mesmo canal de reprodução, e um mesmo player precisa executar totalmente a faixa e ser reconfigurado ou ter a fonte de áudio definida novamente. Com a fila, sempre que um áudio precisar ser reproduzido, um player subsequente estará

disponível, mesmo que o player atual ainda não tenha terminado a reprodução. Ao finalizar a execução da faixa, o player utilizado é reconfigurado e colocado ao final da fila, em um ciclo contínuo.

## 5. Resultados

O aplicativo visa ensinar elementos musicais de maneira interativa a indivíduos com deficiência auditiva, oferecendo uma experiência intuitiva, acessível e sensorial. Conforme ilustrado na Figura 1, a interface é projetada de forma simplificada, permitindo que as configurações sejam ajustadas por meio de alguns componentes essenciais.

Na parte superior da tela, encontra-se o componente AppBar, acompanhado por um menu hambúrguer na lateral, onde estão localizados ajustes e funções adicionais que não são necessárias para a página principal. No centro, em destaque, é exibido o valor atual do BPM, ladeado por ícones de incremento e decremento para ajustes unitários, além de quatro widgets posicionados nas extremidades.

Ao serem acionados, esses ícones permitem o ajuste do valor do BPM conforme ilustrado. Para selecionar os valores de compasso e batidas por compasso, utiliza-se o widget `ValueSetter`, posicionado logo abaixo do container circular, que inclui a definição de adaptadores e listeners para tratar as seleções dos usuários. No centro da interface, o indicador visual de container circular altera sua cor conforme os valores determinados pelo usuário no BPM e no `ValueSetter`. Esse container circular, em implementações futuras, terá a função de mostrar o decorrer do tempo do compasso em números. Finalmente, os ícones de alternância, implementados utilizando o `IconButton` nativo do Flutter, permitem ativar ou desativar dinamicamente o feedback luminoso e as vibrações, bem como iniciar a aplicação.

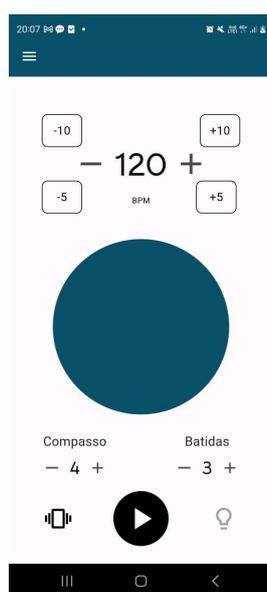
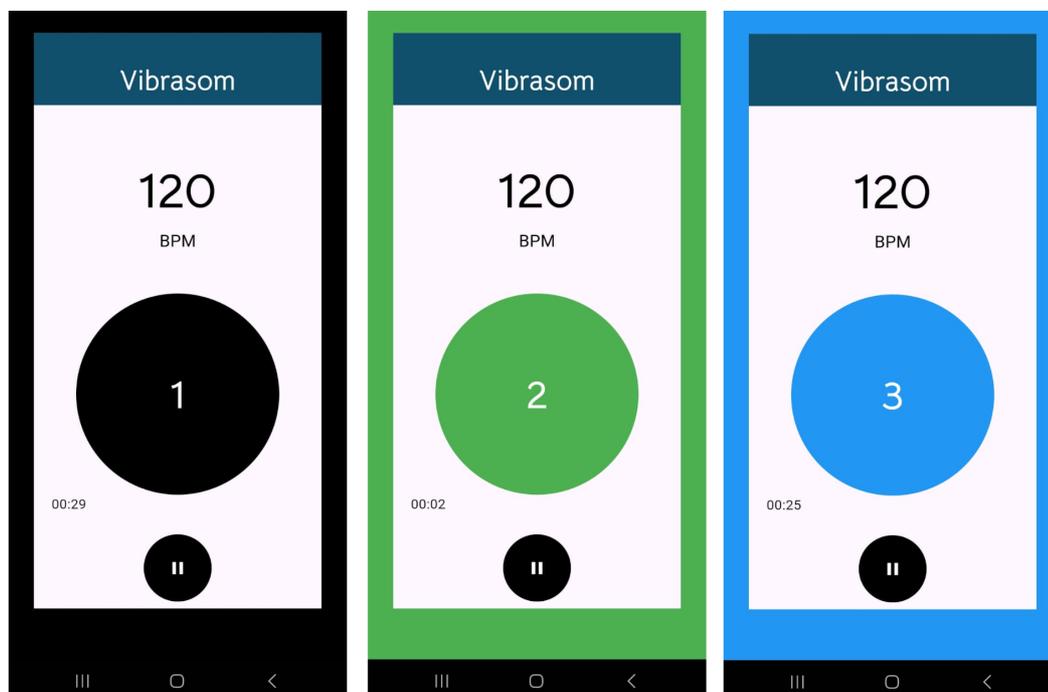


Figura 1. Tela inicial do aplicativo

A segunda tela do aplicativo, vista na figura 2, é acessada ao clicar no ícone de "play" iniciando o metrônomo. Toda a tela principal está contida dentro de um widget de container animado, e ao clicar no ícone, o estado do widget é alterado e a animação é chamada. A tela inicial é reduzida em 15% e a maioria dos componentes são removidos, restando apenas o indicador visual circular, a appBar, o ícone de play e as bordas.



**Figura 2. Aplicativo em execução realizando transição de cores**

A transição de tela é realizada de forma “ease in quart” e dura cerca de 350 milissegundos. As bordas que são geradas com a redução da tela e o indicador visual circular mudam de cor de acordo com as funções de callback já descritas. A tela reduzida e simplificada ajuda a focar a atenção do usuário nos elementos essenciais, evitando distrações e sobrecarga cognitiva [Norman, 2013].

## 6. Trabalhos Futuros e Conclusão

Dado o estágio atual de desenvolvimento do aplicativo, as próximas fases do projeto envolvem a criação de funcionalidades mais avançadas e a implementação de um protocolo de conexão com smartwatches e dispositivos vestíveis similares. Um módulo de polirritmia, que permitirá ao usuário instanciar múltiplos metrônimos em uma única página para criar ritmos e batidas personalizadas, já está concebido. Além disso, será necessário implementar diferentes faixas de áudio para a personalização do metrônomo, animações na tela de execução, predefinições de ritmos reconhecidos como padrão na aplicação, e funções para o aumento ou diminuição gradual e automática do BPM.

A conexão com smartwatches e dispositivos vestíveis visa aumentar a imersão, possibilitando o uso da aplicação enquanto se toca um instrumento, sem que o usuário precise comprometer uma ou ambas as mãos no processo. A implementação de feedback tátil a partir do toque na interface também está em planejamento. Espera-se que o

usuário possa interagir criando um ritmo ou batida própria em uma tela específica, por meio do toque na tela, e que a aplicação seja capaz de identificar o ritmo e o BPM, fornecendo todos os feedbacks sensoriais já apresentados. Quando o aplicativo atingir um estágio mais avançado de desenvolvimento, sua usabilidade e utilidade serão validadas por meio de um questionário baseado no Modelo de Aceitação de Tecnologia (TAM). A aceitação do caráter educacional e funcional da proposta será testada com a colaboração de ouvintes normais, músicos ouvintes, pessoas surdas e alunos de música, tanto ouvintes quanto surdos.

## 7. Referências

- Araújo, R. P., & Medeiros, F. P. A. (2021, November). Processo Participativo de Engenharia de Requisitos para Construção de Tecnologias Educacionais: Versão Preliminar. In *Anais Estendidos do XXXII Simpósio Brasileiro de Informática na Educação* (pp. 01-07). SBC.
- Hupke, R., Beyer, L., Nophut, M., Preihs, S., & Peissig, J. (2019, October). Effect of a global metronome on ensemble accuracy in networked music performance. In *Audio Engineering Society Convention 147*. Audio Engineering Society.
- Ammirante, P., Patel, A. D., & Russo, F. A. (2016). Synchronizing to auditory and tactile metronomes: A test of the auditory-motor enhancement hypothesis. *Psychonomic Bulletin & Review*, 23, 1882–1890.
- Schmitz, A., Holloway, C., & Cho, Y. (2020). Hearing through vibrations: Perception of musical emotions by profoundly deaf people. arXiv preprint arXiv:2012.13265.
- Bragança, B., Ferreira, L. A. G., & Pontelo, I. (2013). Práticas educativas e ambientes de aprendizagem escolar: Relato de três experiências. In *Anais do Seminário Nacional de Educação Profissional e Tecnológica* (pp. 01-07). Belo Horizonte: SENEPT.
- Brown, L. L. (2012). The benefits of music education. PBS Kids for Parents.
- Burn, R., et al. (2016). Adapting the music experience for the deaf: A new approach through vibrotactile feedback. In *Proceedings of the International Colloquium on Musical Informatics*.
- Cascella, M., & AL Khalili, Y. (2019). Short term memory impairment. In *StatPearls [Internet]*. Treasure Island, FL: StatPearls Publishing.
- Chaves, J. M. (2023). Neuroplasticidade, memória e aprendizagem: Uma relação atemporal. *Revista Psicopedagógica*, 40(121), 01-10.
- Dávila, G. M., & Porto, J. B. (2021). *Violearn: Um Protótipo Para Ensino de Teoria e Prática Musical por Violão*. In *Anais do XXXII Simpósio Brasileiro de Informática na Educação* (pp. 462-473). SBC.
- Gorder, B. V. (2024). *Teaching Deaf and Hard-of-Hearing Musicians: A Guide for Secondary Choral Music Educators*.
- Gan, L., Huang, Y., Zhou, L., Qian, C., & Wu, X. (2015). Synchronization to a bouncing ball with a realistic motion trajectory. *Scientific Reports*, 5, 11974.

- Lima Filho, S. M. N. de, Medeiros, F. P. A., D'Andrea, A. F., & Sousa, R. L. de. (2024). VibraSound: A mobile application for immersive musical experience for the hearing impaired. In *Anais do IBERIAN CONFERENCE ON INFORMATION SYSTEMS AND TECHNOLOGIES* (pp. 01-06). IEEE.
- McCarthy M., & Goble, J. S. (2011). Music education, philosophy of. In *Grove Music Online*. <https://doi.org/10.1093/gmo/9781561592630.article.A2093412>.
- Gibson, J. (2000). Music and deafness: A review of research literature. *Journal of Music Therapy*, 37(3), 222-241.
- Haguiara-Cervellini, N. (2003). *A musicalidade do surdo: Representação e estigma*. São Paulo: Plexus.
- Hake, R., Bürgel, M., Nguyen, N. K., Greasley, A., Müllensiefen, D., & Siedenburg, K. (2023). Development of an adaptive test of musical scene analysis abilities for normal-hearing and hearing-impaired listeners. *Behavior Research Methods*, 1-26.
- Holmes, J. A. (2017). Expert listening beyond the limits of hearing: Music and deafness. *Journal of the American Musicological Society*, 70(1), 171–220.
- Hupke, R., Beyer, L., Nophut, M., Preihs, S., & Peissig, J. (2019). Effect of a global metronome on ensemble accuracy in networked music performance. In *Audio Engineering Society Convention 147*. Audio Engineering Society.
- Arthur, P., Khuu, S., & Blom, D. (2016). A preliminary study: is the metronome harmful or helpful?. *Australian Journal of Music Education*, 50(2), 71-82.
- Karam, M., et al. (1996). Designing vibrotactile feedback for music performance. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*. <https://doi-org.ez15.periodicos.capes.gov.br/10.1109/51.7932>
- King, W. R., & He, J. (2006). A meta-analysis of the technology acceptance model. *Information & Management*, 43(6), 740-755.
- Krug, D. L., Kulibaba, R. J., Linzmeyer, D. A., Mouza, C., & Shepherd, D. C. (2023, November). Inspiring interest in computing using music: A case study on students lacking prior music education. In *Anais do XXXIV Simpósio Brasileiro de Informática na Educação* (pp. 1612-1624). SBC.
- Martinez, S. (1987). Music therapy for deaf children: Approaches and outcomes. *Journal of Music Therapy*, 24(2), 65-77. <https://doi-org.ez15.periodicos.capes.gov.br/10.2307/3394046>.
- Marschall, M., et al. (2020). *MusicAid: Towards a collaborative experience for deaf and hearing*. In *Aalborg University Publications*. <https://vbn.aau.dk/en/publications/music-aid-towards-a-collaborative-experience-for-deaf-and-hearing>.
- Murphy, E. (2021). Enhancing musical experiences for the deaf: An overview of current research. In *SAGE Journals*. <https://doi-org.ez15.periodicos.capes.gov.br/10.1177/10298649211015278>.
- Norman, D. A. (2013) "The Design of Everyday Things." Revised and expanded edition. Basic Books.

- Oapen. (2020). Open access perspectives on music and deafness. In OAPEN Library. <https://library.oapen.org/bitstream/handle/20.500.12657/28142/1/1001852.pdf#page=200>.
- Porflitt, F. I., & Rosas-Díaz, R. R. (2019). Behind the scene: cognitive benefits of playing a musical instrument. Executive functions, processing speed, fluid intelligence and divided attention/Detrás de la escena: beneficios cognitivos de tocar un instrumento musical. Funciones ejecutivas, velocidad de procesamiento, inteligencia fluida y atención dividida. *Studies in Psychology*, 40(2), 464-490.
- ProQuest. (2022). Adaptive metronomes in music education. ProQuest Dissertations Publishing. <https://www.proquest.com/openview/173160db04186527ced5a95f5e22926b/1?pq-origsite=gscholar&cbl=18750&diss=y>.
- Shneiderman, B. and Plaisant, C. (2004) "Designing the User Interface: Strategies for Effective Human-Computer Interaction." 4th edition. Addison-Wesley.
- Silva, R. A. (2020). Educação musical para surdos: Um estudo de caso. Revista Eixo. <http://revistaeixo.ifb.edu.br/index.php/RevistaEixo/article/download/776/469>.
- Silva, N. M., Alves, J. F., Castro, A. B. C., & Varela, J. H. S. (2020). Educação musical de surdos: Características, barreiras e práticas exitosas. *Educação e Pesquisa*, 46, e221995.
- Vathagavorakul, R., Gonjo, T., & Homma, M. (2024). The influence of sound waves and musical experiences on movement coordination with beats. *Human Movement Science*, 93, 103170.
- White, D. (1976). Visual and kinesthetic learning in music education for the deaf. *Journal of Music Therapy*, 13(3), 151-159. <https://doi-org.ez15.periodicos.capes.gov.br/10.1093/jmt/13.3.151>.