

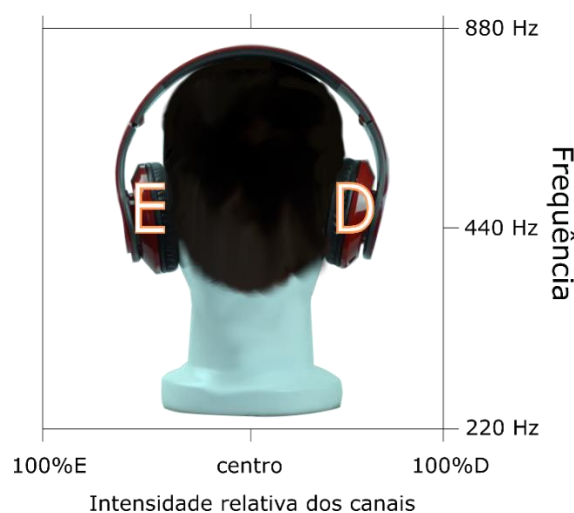
Para o desenvolvimento dos códigos da pesquisa aqui relatada, foi utilizado como base os pressupostos do *The vOIce* (Meijer, 1992), porém foram feitas modificações para torná-los aplicáveis ao ensino de Física. O *software* original reproduz os códigos associados a todos os elementos da imagem sendo representada de forma simultânea, dificultando a compreensão precisa de cada um dos elementos. Além disso, o som é reproduzido sempre da esquerda para a direita, o que impossibilita a representação de grandezas vetoriais, como forças ou outros elementos que necessitem direção e sentido definidos, como linhas de campo elétrico, por exemplo, que constituem o núcleo de fundo deste trabalho.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A pesquisa aqui descrita se enquadra naquilo que Lüdke e André (1986) chamam de estudo de caso qualitativo, ou estudo de caso naturalístico, pois visa à descoberta de algo novo, que pode ser amplamente surpreendente. Por isso é decisivo que o pesquisador conheça profundamente o tema central, ou o núcleo do que está sendo estudado. Os procedimentos do estudo de caso variam conforme as variáveis naturais da pesquisa, como o que se está investigando, quem está sendo investigado, que ferramentas ou instrumentos serão aplicados, e assim por diante.

Nesta pesquisa, a Figura (1) representa o espaço virtual bidimensional onde são representados os elementos das simulações auditivas, que foram desenvolvidas no programa *Reaper*. No decorrer da investigação os participantes são convidados a se colocarem, eles mesmos, no papel de investigadores das próprias percepções.

Figura 1. Espaço virtual das simulações auditivas.



Fonte: elaborado pelos autores (2020).

A posição vertical ocupada por cada elemento, nesse espaço, é caracterizada pela frequência sonora de seus respectivos códigos que, para linhas de campo elétrico e vetores

força elétrica é o som produzido por um sinal elétrico senoidal aplicado a fones de ouvido. A escolha das frequências limites 220 Hz e 880 Hz se deve a que a percepção dessas frequências é geralmente boa em todas as pessoas ouvintes, assim como à tentativa de evitar o desconforto auditivo que costuma ocorrer em frequências maiores.

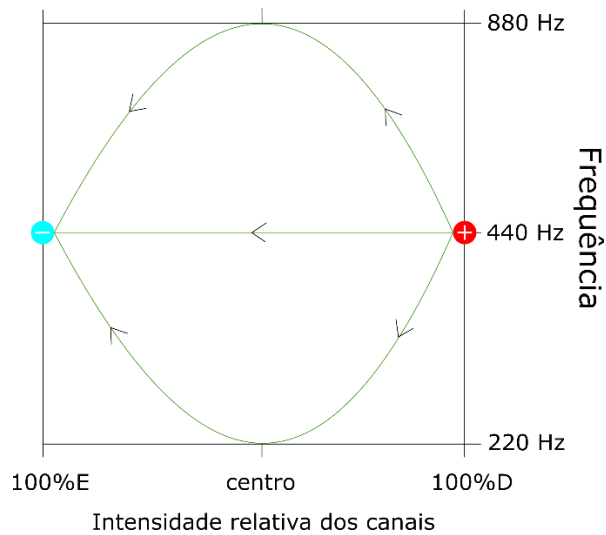
Em relação à percepção, o valor mínimo foi definido a partir dos parâmetros utilizados convencionalmente em procedimentos de Audiometria Tonal Liminar, padronizado para descrever a sensibilidade auditiva por meio de testes entre frequências sonoras de 250 a 8.000 Hz (Oppitz, Silva, Garcia & Silveira, 2017). A opção por 220 Hz em vez de 250 Hz se deve à facilidade de elaboração das simulações, pois essa frequência representa a nota musical *Lá* – a quinta corda de um violão, na afinação tradicional –, uma oitava abaixo do *Lá* central (440 Hz), o que facilita a criação de simulações em programas de computador destinados à produção musical, como as *Digital Audio Workstations* (DAW), categoria na qual se enquadra o programa *Reaper*. Frequências dessa ordem são bem toleradas pelas pessoas, o que é benéfico quando se considera que o tempo de exposição dos participantes às simulações é relativamente grande.

A posição horizontal ocupada pelos elementos da simulação é definida pela sua posição no panorama estéreo do som, de forma similar ao funcionamento da percepção acerca da posição de fontes sonoras em situações cotidianas. Para simular um elemento posicionado diretamente à frente do ouvinte, o código sonoro desse é reproduzido com igual intensidade nos canais esquerdo e direito, ou seja, nas orelhas esquerda e direita do ouvinte.

Um elemento que se desloca da posição central para a esquerda terá o seu código sonoro reproduzido cada vez mais intensamente no canal esquerdo e, simultaneamente, menos intensamente no canal direito, até que a intensidade no canal direito seja igual a zero quando o elemento atingir o ponto extremo esquerdo da simulação. Um elemento deslocando-se para a direita da simulação seguirá a mesma lógica, aumentando a intensidade no canal direito e diminuindo no canal esquerdo. Assim, é possível representar a orientação de grandezas vetoriais e de linhas de campo.

Para fins de entendimento dos códigos adotados, considerou-se a imagem a seguir (Figura 2) como uma representação simplificada das linhas de campo entre dois corpos puntiformes carregados com cargas iguais e de sinais opostos:

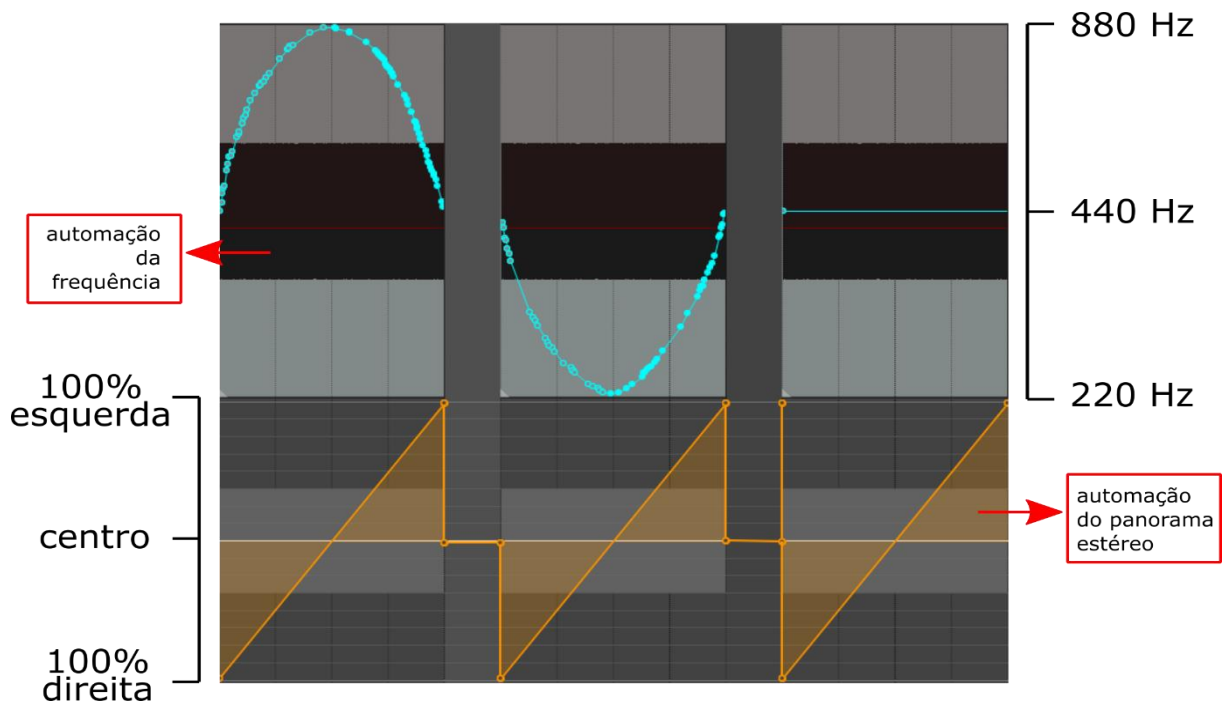
Figura 2. Representação simplificada das linhas de campo entre dois corpos puntiformes carregados com cargas de sinais opostos.



Fonte: elaborado pelos autores (2020)

As cargas elétricas são representadas por gravações de voz com a primeira sílaba de cada uma, ambas afinadas em Lá Central (440 Hz), sendo “pô” o código para carga positiva e “nê” o código para carga negativa. Em situações onde há movimento de cargas elétricas, este é representado a partir da variação das alturas dos códigos. A variação da altura e do panorama estéreo para representação das linhas de campo – e, quando necessário, das cargas – é feita com o recurso de automação destes parâmetros, presente no programa *Reaper*. A Figura (3) ilustra este recurso a partir de uma captura de tela do programa contendo a construção dos códigos sonoros representativos das três linhas de campo mostradas na Figura 2.

Figura 3. Automação de frequência e panorama estéreo do programa Reaper.



Fonte: elaborado pelos autores (2020).

Para a validação dos códigos desenvolvidos, estes foram testados por dois estudantes do Ensino Médio, um estudante cego e outro vidente. Em decorrência da pandemia de COVID-19 não foi possível realizar os testes com um estudante de baixa visão. Apesar disso, levando-se em consideração que pessoas cegas não se diferenciam cognitivamente de pessoas videntes (Neto, 2012), se entendeu que as percepções dos dois participantes anteriormente citados foram suficientes para a consecução dos objetivos aqui propostos.

Os elementos representados durante os testes foram: retas horizontais orientadas da direita para esquerda e da esquerda para a direita; situadas verticalmente nas alturas máxima, central e mínima; retas verticais orientadas da altura mínima à máxima e da máxima à mínima, situadas horizontalmente nas posições extrema esquerda, central e extrema direita; retas diagonais orientadas de um canto extremo ao outro, ascendentes e descendentes, com exemplos partindo de cada um dos quatro cantos, totalizando quatro representações; arcos com concavidade para baixo orientados da esquerda para a direita e da direita para esquerda, iniciando e terminando na altura central; arcos com concavidade para cima orientados da esquerda para a direita e da direita para esquerda, iniciando e terminando na altura central; cargas elétricas positivas e negativas; pedaço de tecido; pedra.

Os testes foram realizados à distância por meio de aplicativo de mensagens de áudio. As percepções dos estudantes após a experimentação dos códigos foram registradas por meio de entrevistas semiestruturadas também realizadas a distância, e esses registros foram analisados com base na Análise Fenomenológica Hermenêutica (AFH) (Medeiros, 2016).

Essa forma de análise é especificamente voltada para situações nas quais o pesquisador entra em contato o mais diretamente possível com os participantes ou com os fenômenos estudados, e não se presta para análise de textos, discursos ou imagens. A característica da AFH que mais a distingue das demais formas de análise qualitativa é a de que não ocorre fragmentação e posterior reagrupamento de excertos. Confia-se plenamente na capacidade do pesquisador, que deve ter conhecimentos do fenômeno estudado, além de fenomenologia e hermenêutica, de modo que este possa extrair da própria vivência aquilo que lhe é mais peculiar (Medeiros, 2016).

A AFH parte do pressuposto que a realidade daquilo que é observado não pode ser seccionada sem que isso altere fundamentalmente suas características, e por isso assume o compromisso de trabalhar sempre com a totalidade daquilo que se apresenta - em sua própria natureza e nos significados que possa ter. É claro que a subjetividade do pesquisador vai estar sempre presente na AFH, como está também nas outras formas de análise qualitativa, mas nesse caso essa subjetividade interpretativa não se oculta por detrás de algoritmos de fragmentações, categorizações e reconstruções, que podem trazer um ar de cientificidade à análise, mas que de fato não favorecem a interpretação, propriamente.

Os dois participantes da pesquisa relataram compreender os códigos sonoros que representaram os objetos em questão. Ambos afirmaram compreender facilmente os códigos de sonorização associados às representações das cargas elétricas, do fragmento de tecido e

da pedra. Da mesma forma, não tiveram dificuldade para a compreensão das linhas retas horizontais ou verticais, fundamentais para a compreensão da representação gráfica das linhas de campo.

As principais dificuldades relatadas pelos participantes se relacionaram à representação dos arcos, principalmente os de concavidade para a esquerda e para a direita. Ambos afirmaram perceber a orientação vertical destes arcos, porém não compreenderam corretamente os seus deslocamentos horizontais. Isso era esperado, na medida em que não houve um treinamento para o uso do sistema de substituição sensorial usado nesta pesquisa. Os participantes simplesmente foram apresentados ao sistema e passaram a utilizá-lo.

O participante cego afirmou ter dificuldade para a compreensão dos códigos associados aos arcos com concavidade para cima e para baixo e às linhas retas diagonais, porém relatou que, reproduzindo as simulações repetidamente, pôde afinal compreendê-las. Isso foi uma espécie de treinamento naturalmente induzido. O estudante vidente não apresentou dificuldades com estas formas geométricas.

CONCLUSÕES

Considerando as limitações que foram impostas à investigação como decorrência da pandemia, os resultados encontrados foram satisfatórios. Obteve-se a participação plena dos dois estudantes envolvidos no processo, com muita interação sonora com os pesquisadores, via mensagens de áudio. Desse modo pôde-se garantir que os pesquisadores entraram em contato direto com o fenômeno investigado, como preconiza a AFH, podendo interpretar o que se passou com cada participante. Por fim, as entrevistas semiestruturadas, apesar de serem feitas a distância, permitiram que os participantes se expressassem livremente, trazendo valiosas informações sobre o sistema de substituição sensorial que lhes foi apresentado, e sobre o qual se manifestaram.

A partir dos relatos dos participantes da pesquisa, se concluiu que os códigos desenvolvidos para o sistema de transposição sensorial apresentam potencial para o ensino de Física de estudantes cegos e de baixa visão. Alguns ajustes se fazem necessários para viabilizar a compreensão de formas que apresentam variações sutis de suas posições horizontais, como os arcos com concavidade para esquerda e para a direita.

Acredita-se que a utilização de simulações baseadas na substituição sensorial visual-auditiva é um caminho viável para a acessibilidade de estudantes com deficiências visuais. Além de serem uma alternativa para a representação de conceitos físicos de caráter geométrico, as simulações são reutilizáveis, apresentam baixo custo de produção e não oferecem empecilhos de transporte, uma vez que são arquivos digitais.

Dessa forma, um professor de Física pode, com relativa facilidade, elaborar um OA que utilize o sistema proposto, apresentando-o a seus alunos cegos como uma forma de fazê-

los compreender o conceito de campo elétrico e de linhas de força entre placas planas e cargas pontuais, podendo complexificar a geometria dos eletrodos conforme o estudante for adquirindo habilidade de reconhecer os padrões, fazendo a transposição sonoro-visual.

REFERÊNCIAS

- Amiralian, M. L. T. M. (1997). *Compreendendo o cego*. São Paulo: Casa do psicólogo.
- Arantes, A.; Miranda, M. S.; Studart, N. (2010). Objetos de aprendizagem no ensino de Física. *Física na Escola*, 27, 1-11.
- Auvray, M., Hanneton, S., Lenay, C. & O'regan, K. (2005). There is something out there: distal attribution in sensory substitution, twenty years later. *Journal of Integrative Neuroscience*, World Scientific Publishing, 4, 4.
- Auvray, M., Hanneton, S. & O'regan, J. K. (2007). Learning to perceive with a visuo-auditory substitution system: Localisation and object recognition with 'The vOICe'. *Perception*, 36, 416-430.
- Azevedo, A. (2012). *Produção de material didático e estratégias para o ensino de física para alunos portadores de deficiência visual*. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Bach-y-Rita, P., Collins, C. C., Saunders, F. A., White, B. & Scadden, L. (1969). Vision substitution by tactile image projection. *Nature*, 221, 963–964.
- Bach-y-Ritta, P. & Kerchel, S. (2003). Sensory substitution and the human–machine interface. *Trends in Cognitive Sciences*, 7, 12, 541-546.
- Brasil. *Decreto nº 7.611, de 17 de novembro de 2011*. Dispõe sobre a educação especial, o atendimento educacional especializado e dá outras providências. Diário Oficial da União n. 221, Brasília, DF, 18 nov. 2011. Seção 1, p. 12.
- Camargo, E. P. (2012). *Saberes docentes para a inclusão do aluno com deficiência visual em aulas de física*. UNESP. São Paulo.
- Connors, E. C., Yaxxolino, L. A., Sánchez, J. & Merabet, L. B. (2014). Development of a Audio-based Virtual Gaming Environment to Assist with Navigation Skills in the Blind. *J Vis Exp*. 2014. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3641639/pdf/nihms546296.pdf>. Acesso em 01 nov. 2018.
- Durette, B., Louveton, N., Alleysson, D. & Hérault, J. (2008). Visuo-auditory sensory substitution for mobility assistance: Testing TheVIBE. In: *Workshop on Computer Vision Applications for the Visually Impaired*, 1–13.

- Ferreira, M. (2014). *Uma abordagem para o ensino de física a alunos deficientes visuais: um olhar diferente para o espelho*. Dissertação (Mestrado) – Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- Grossi, M. C. (2016). *Ensino de física inclusivo envolvendo alunos com deficiência visual na educação de jovens e adultos*. Dissertação (Mestrado) – Programa de Mestrado em Ensino de Física, Universidade Federal de Lavras.
- Lüdke, M.; André, M. E. D. A. (1986). *Pesquisa em educação: abordagens qualitativas*. EPU. São Paulo.
- Manske, N. (2013). *Ensino de física para deficientes visuais: materialização de figuras do livro didático*. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- Martins, A. (2013). *Representação de figuras do livro didático de física: uma proposta para a melhoria da autonomia dos estudantes cegos*. Dissertação (Mestrado) – Mestrado em Ensino em Ciências e Matemática, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- Medeiros, G. (2016.) *Olhar Para O Sol: concepção da análise fenomenológica hermenêutica*. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências e Matemática, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Meijer, P. (1992). An Experimental System for Auditory Image Representations. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 39, 2, 112-121.
- Nanone, N. J. (2017). *Produção e aplicação de maquetes como ferramenta para aulas de astronomia*. Dissertação (Mestrado) – Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus.
- Neto, J. D. (2012). *A experimentação para alunos com deficiência visual: proposta de adaptação de experimentos de um livro didático*. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências. Universidade de Brasília. UnB.
- Oppitz, S., Silva, L., Garcia, M. & Silveira, A. (2018). *High-frequency auditory thresholds in normal hearing adults*. *CoDAS*, São Paulo, v. 30, n. 4, e20170165, Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2317-17822018000400308&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 04 dez. 2020.
- Perez, M., Rocha Filho, J. & Lahm, R. (2018). Estado do conhecimento sobre tecnologias assistivas de caráter auditivo no ensino de física de alunos com deficiências visuais. *Revista Atlante: Cuadernos de Educación y Desarrollo*. Maio de 2018.
- Sabatini, M. (2012). Reflexões críticas sobre o conceito de objeto de aprendizagem aplicado ao ensino de ciências e matemática. *Em Teia – Revista de Educação Matemática e Tecnológica Iberoamericana*, 3, 3.

- Sánchez, J., Tadres, A., Pascual-Leone, A. & Merabet, L. (2009). Blind children navigation through gaming and associated brain plasticity. In: *Virtual Rehabilitation 2009 International Conference*. Proceedings. Haifa, Israel, IEEE, 29-36.
- Santos, A. L. (2016). *Atividades multissensoriais para o ensino de física*. 2016. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências, Universidade de São Paulo.
- Viveiros, E. (2013). *Mindware semiótico-comunicativo: campos conceituais no Ensino de física para deficientes visuais utilizando uma Interface cérebro-computador*. Tese (Doutorado) – Programa de Pós Graduação em Educação para a Ciência, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Bauru.