

O ENSINO DA ACÚSTICA BASEADO NUMA ABORDAGEM CONSTRUTIVISTA INTEGRADA NA SOCIEDADE

Carlos F. Ferreira¹², Maria C. Costa¹³

¹ Escola Superior de Tecnologia de Tomar, Instituto Politécnico de Tomar

² Ci2 - Smart Cities Research Center, Instituto Politécnico de Tomar
{cferreira@ipt.pt}

³ CICS.NOVA - Centro Interdisciplinar de Ciências Sociais, Universidade Nova de Lisboa
{ccosta@ipt.pt}

Resumo

O presente artigo foca-se num trabalho de implementação de uma abordagem ao ensino da física do som com base numa perspetiva construtivista do conhecimento. Para o efeito, foi desenvolvido um trabalho colaborativo com a comunidade envolvente, incluindo câmaras municipais, centros de formação, escolas do ensino básico e secundário e uma instituição do ensino superior. Procurou-se ainda introduzir um terceiro vetor no processo de aprendizagem de estudantes do ensino superior: o de, em simultâneo com a parte académica, fazer com que estes gerem algo útil para a sociedade, sob a forma de participação em eventos relacionados com a educação STEAM. Verificou-se que esta abordagem promoveu o interesse e a aprendizagem dos estudantes, proporcionando ainda um sentido de propósito e realização aos estudantes envolvidos, assim como promoveu feedback e capacidades de gestão, e também conceitos fundamentais na futura integração destes no mercado de trabalho.

Palavras-chave: Física do som, ensino construtivista, desenvolvimento de protótipos, educação STEAM.

Abstract

This paper focuses on the implementation of an approach to teaching the physics of sound based on a constructivist perspective of knowledge. To this end, a collaborative work was carried out with the surrounding community, including local councils, training centres, primary and secondary schools and a higher education institution. We also sought to introduce a third vector into the learning process for higher education students: that of making them generate something useful for society at the same time as the academic part, in the form of participation in events related to STEAM education. It was found that this approach promoted student interest and learning, and provided a sense of purpose and achievement for the students involved, as well as promoting feedback and management skills, and also fundamental concepts in their future integration into the labour market.

Keywords: Sound physics, constructivist teaching, prototype development, STEAM education.

PACS no. 43.10.Sv, 43.10.Ln, 43.50.Sr, 43.38.-p

1 Introdução

Nesta secção, são referidos os princípios de ensino assentes no construtivismo, assim como se destaca a importância de adotar metodologias de ensino que motivem os estudantes para a aprendizagem e para os preparar para os desafios da vida real. É neste contexto que se dá conta do desenvolvimento de atividades práticas *hands-on* e de protótipos por uma instituição do ensino superior, com o objetivo de ensinar conceitos fundamentais relacionados com a física do som, com base numa perspetiva construtivista do conhecimento.

1.1 Princípios de ensino e o construtivismo

Os princípios do pensamento construtivista consideram que a construção do conhecimento é realizada de uma forma recorrente, sendo que, para isso, é necessária uma participação ativa do sujeito na aprendizagem, ou seja: este realiza experiências e interpreta-as, várias vezes, testando as hipóteses formuladas, assim como as conclusões. Neste contexto, o conhecimento é ativamente construído pelo aluno e não recebido passivamente do exterior [1].

Havendo já estudos de vários autores, desde Aristóteles, Karl Marx, entre outros, que defendiam a utilização dos sentidos e da prática, na aprendizagem, os trabalhos de Maria Montessori, Jean Piaget e Vygotsky, foram importantes no instituir dos princípios da teoria construtivista do conhecimento [1], [2]. Segundo estes, o desenvolvimento mental humano é, desde a infância, um processo de adaptação ao meio, que resulta, assim, da interação com ele.

Entenda-se como fazendo parte da interação com o meio, também o aspeto social, de grande importância neste processo [3]. A discussão em grupo, e o envolvimento social e emocional, quando adequados, proporcionam uma componente importante no processo de aprendizagem. Vários autores identificam ainda a necessidade de encorajamento implícito ao aluno para construir autoconsciência, o desenvolvimento de autonomia, juntamente com o seu progresso dentro do grupo e da sociedade, assim como competências de gestão, para um verdadeiro crescimento [4]. As ligações pessoais e a experiência dada pela responsabilidade social, criadas neste processo, servem de “teia” e estrutura para futuras evoluções.

1.2 Aprendizagem através da realização de projetos com a comunidade

Com base no entendimento do processo de construção do conhecimento recomenda-se que se adotem metodologias de ensino que preparem melhor os estudantes para as carreiras futuras. Neste sentido, a abordagem STEAM (Ciências, Tecnologia, Engenharia, Arte e Matemática), que envolve a resolução de problemas da vida real, é defendida por motivar os estudantes para a aprendizagem e os preparar para os desafios das sociedades atuais [5].

No presente artigo apresenta-se um trabalho referente à implementação de uma abordagem ao ensino da física do som com base numa perspetiva construtivista do conhecimento, tendo por objetivo adicional motivar os alunos para a aprendizagem das STEAM. Com este propósito, foi desenvolvido um trabalho colaborativo com a comunidade envolvente, incluindo câmaras municipais, centros de formação, escolas do ensino básico e secundário e uma instituição do ensino superior.

Neste contexto, a instituição do ensino superior procura dar resposta às necessidades da comunidade, desenvolvendo atividades práticas *hands-on* e protótipos destinados a promover a aprendizagem dos estudantes, quer em visitas ao seu campus, quer nas escolas, ou ainda em feiras ou mesmo em clubes Ciência Viva, entre outros.

Neste processo foram envolvidos estudantes do ensino superior. Nomeadamente, no projeto e desenvolvimento de sistemas experimentais, destinados à utilização em eventos na comunidade e, portanto, com o objetivo de terem aplicação prática. Este é um “desafio maior” para os estudantes, dado

que os protótipos desenvolvidos têm de ser testados em contexto real e só serão aprovados se cumprirem os objetivos previamente definidos.

Na próxima secção explica-se a metodologia do caso em estudo. Na secção 3 aborda-se o desenvolvimento dos protótipos, assim como a sua utilização em eventos na comunidade. Finalmente, na secção 4, são apresentadas as conclusões.

2 Contexto e metodologia de desenvolvimento dos protótipos

Desde 2013 que a Academia da Ciência, Arte e Património (www.academiacap.ipt.pt) tem vindo a desenvolver atividades enquadradas nas STEAM e património [6]. Entre atividades destinadas a alunos do ensino básico e secundário também é promovido o desenvolvimento profissional de professores. Neste contexto, o desenvolvimento de vários protótipos, assim como experiências práticas *hands-on*, para serem implementadas nas referidas atividades tem um papel importantíssimo, dado que estes são desenhados para o fim a que se destinam, i.e., têm que ser adequados para a aprendizagem de conteúdos relacionados com as STEAM através de uma abordagem *hands-on* que seja apelativa para os estudantes [7], [8].

Os protótipos em causa são realizados por estudantes do ensino superior, no âmbito da unidade curricular de projeto. Esta é uma unidade com um funcionamento diferente das restantes. Existe uma lista de temas que é proposta pelos professores/orientadores, e cada grupo de estudantes (constituído, normalmente, por 2 ou 3) candidata-se àqueles pelos quais têm preferência. Existe, deste modo, à partida interesse no tema por parte dos alunos, ou seja, estes estarão motivados para desenvolver o projeto nessa área.

O projeto é supervisionado por professores, que funcionam como tutores/consultores. Pretende-se que este corresponda ao concretizar do trabalho proposto, utilizando os vários conhecimentos obtidos durante o percurso académico, sendo muitas vezes um dos primeiros contactos com a construção de algo relativamente complexo e que necessita de ser bem fundamentado. Alia-se, deste modo a teoria à prática, tal como o defendido por Dewey [9].

Neste contexto, os estudantes revelam um esforço elevado na sua realização para dar resposta ao solicitado. Muitas vezes estes trabalhos são meramente académicos e, no final, o sistema produzido/protótipo pode ficar “na prateleira, a ganhar pó”, não sendo utilizado. A sua função termina, deste modo, sem que haja aplicação em contexto real do projeto realizado.

Neste artigo, dá-se conta do desenvolvimento de projetos que são implementados na comunidade e, portanto, têm aplicação prática na vida real, o que acresce o grau de dificuldade para a sua boa execução, dado que ele só é aprovado se funcionar de acordo com os objetivos previamente definidos. As intervenções na comunidade podem ser em workshops em escolas do ensino básico ao secundário, formação de professores, ou feiras de ciência, entre outros.

Apesar da dificuldade acrescida, relacionada com o funcionamento dos protótipos e sua boa aceitação pelo público a que se destinam, os estudantes de engenharia, envolvidos nestes projetos, apreciam esta dimensão de serviço à sociedade, que proporciona um sentido de propósito e utilidade. Por outro lado, este tipo de projeto promove feedback sobre o trabalho realizado, assim como ajuda no desenvolvimento de capacidades de gestão, de trabalho em equipa, de relacionamento com a sociedade e as suas necessidades, etc., capacidades essas, que são reconhecidamente úteis para a sua vida profissional.

Este é um aspeto importante, defendido por vários autores: o colocar do trabalho ao serviço da comunidade, sendo uma relação de ganho para ambos: estudantes e comunidade [10], [11].

3 Protótipos construídos e respetivos contextos de utilização

Nas próximas subsecções apresentam-se os protótipos desenvolvidos e a sua relação com os conceitos acústicos em causa.

3.1 Gerador de funções

Em grande parte das experiências, relacionadas com o tema áudio e acústica, é necessário gerar um sinal de uma determinada frequência num tom puro, ou seja de forma sinusoidal.

Foi, assim, proposto projectar um oscilador eletrónico, com frequência variável, que abrangesse o intervalo de frequências audível pelo ser Humano.

A resposta obtida foi baseada num circuito integrado (CI), o ICL8038, que permite obter sinais de saída de forma sinusoidal, quadrada e triangular.

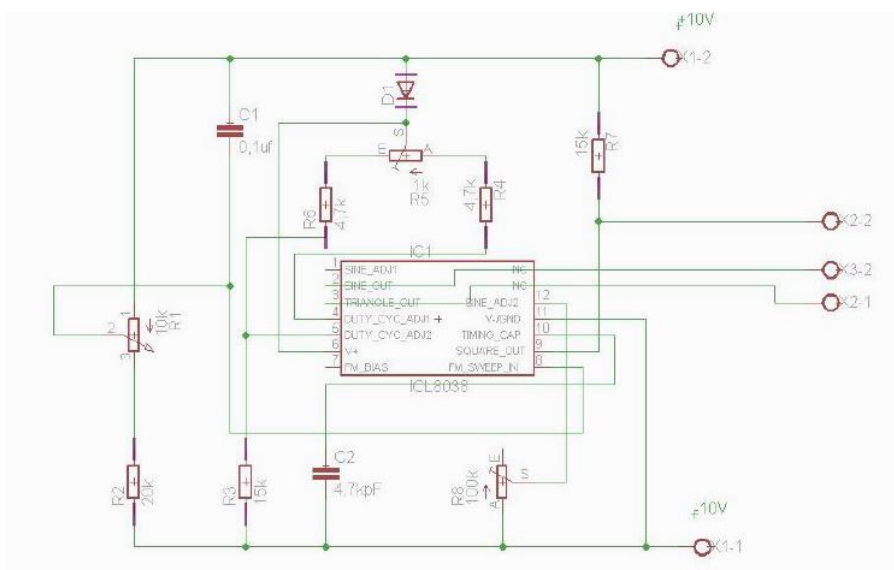


Figura 1 – Esquema elétrico do oscilador, baseado no circuito integrado ICL8038.

Adicionando relativamente poucos componentes externos, utiliza-se o circuito apresentado na Figura 1, e o seu projeto em circuito impresso, assim como a sua implementação, na Figura 2.

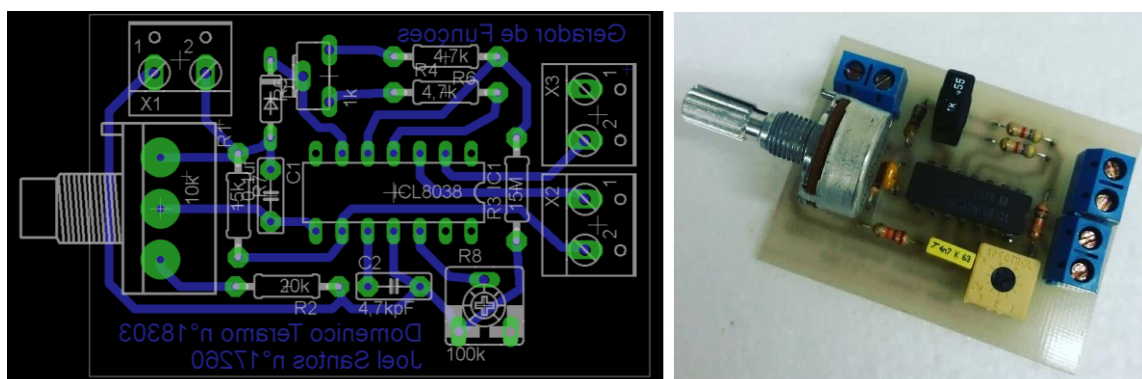


Figura 2 – Projeto em circuito impresso (esquerda), assim como a sua implementação (direita).

De acordo com o seu princípio de operação, se R4 e R6 forem iguais, e de valor R, e denominando C2 unicamente por C, a frequência de oscilação é dada por:

$$f = \frac{0,33}{RC}. \quad (1)$$

Fazendo uso da Equação 1, para o cálculo da frequência, e assumindo um valor de R igual a 4,7 kΩ, e um condensador de 4,7 nF obtém-se uma frequência de aproximadamente 15 kHz.

Como se pretende que este valor seja variável, introduziu-se, através do potenciômetro R1, uma tensão variável no terminal 8 do CI, permitindo obter modulação em frequência, ou seja, uma variação de aproximadamente 20 Hz a 20 kHz.

3.2 Caixa de reprodução portátil, com espaço de transporte de material.

Para poder atender à reprodução de áudio em diversas apresentações e eventos, como por exemplo visitas às escolas ou feiras de ciência, optou-se por projetar e desenvolver uma caixa acústica ativa. Como objetivos definiu-se integrar, num único sistema, um reproduutor áudio estéreo (amplificador e colunas), facilmente transportável, com o gerador de sinais anteriormente descrito e ainda algum espaço adicional para transportar itens adicionais. Para demonstrar efeitos de diretividade, entre outros, pretende-se que, simultaneamente, seja possível o utilizador definir a posição dos altifalantes esquerdo e direito. O seu diagrama de blocos encontra-se representado na Figura 3.

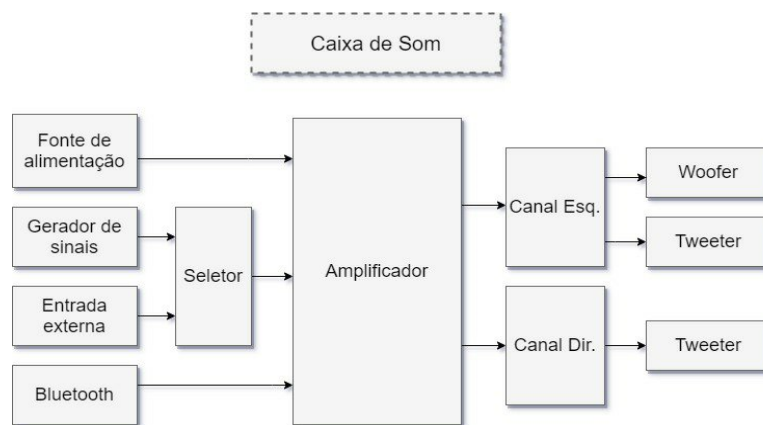


Figura 3 – Diagrama de blocos do projeto.

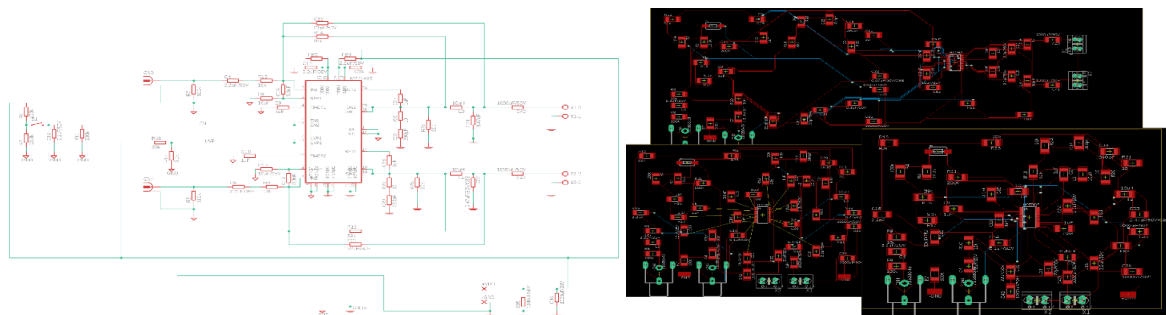


Figura 4 – Desenvolvimento do amplificador de potência (esquerda: esquemático, direita: Placa de Circuito Impresso).

De modo a estender a autonomia do sistema ao máximo (no caso de utilização por acumuladores de energia) optou-se por utilizar fontes comutadas e amplificadores classe D. Os sistemas baseados em comutação, apesar de serem mais difíceis de construir, e de obter boas características em termos de distorção, relação sinal-ruído, etc., [12], permitem obter uma bastante maior eficiência e maior densidade de potência que os sistemas com andares de classe AB tradicionais [13].

O sistema de amplificação encontra-se ainda em fase de desenvolvimento, tal como o representado na Figura 4. A fonte é de 24 V e, numa primeira abordagem, optou-se por utilizar um amplificador com base no CI MP7748S.

Em termos de transdução acústica, partiu-se do princípio científico que as ondas sonoras de baixa frequência tendem a ser omnidirecionais, estas podem ser reproduzidas por um único altifalante, e em princípio são comuns aos dois canais a reproduzir. Assim, de modo a simplificar, e não utilizar mais altifalantes ou amplificadores, utilizou-se unicamente um altifalante de baixas frequências, com um filtro passa-baixo, ligado a um dos canais (esquerdo) do amplificador. Outras soluções seriam possíveis, mas, ou exigiriam um número superior de altifalantes (ou altifalantes especiais, com dois enrolamentos, por exemplo, para reproduzir os dois canais em baixa frequência), ou/e mais amplificadores (como por exemplo, um dedicado só para médios/graves).

Os dois canais, esquerdo e direito, ao reproduzir as frequências mais elevadas, filtradas com um filtro passa-alto adequado, permitem, deste modo, reproduzir a imagem estéreo provinda do material a reproduzir. Os altifalantes escolhidos encontram-se representados na Figura 5.

A caixa utilizada encontra-se em acabamento, encontrando-se a sua representação na Figura 6. O seu alinhamento acústico encontra-se ainda em optimização. Devido ao factor de qualidade total do driver de graves, (Q_{ts} , parâmetros Thiele/Small) estar num valor intermédio (0,39) este pode servir para uma caixa bass-reflex ou fechada [14], [15].



Figura 5 – Altifalantes utilizados: 8BR40N-8 (esquerda) e 3FR30-8, da Beyma.



Figura 6 – Construção do sistema de reprodução portátil (à esquerda na fase inicial, à direita, quase concluída: vistas frontal e traseira, incluindo trolley de transporte).

3.3 “Sonómetro” de alarme para sala de aulas.

Entre as atividades realizadas no âmbito do tema do som, foi realizado um workshop/formação, organizado em parceria com o Centro de Formação dos Templários, destinado a professores do ensino básico dos Agrupamentos de Escolas Nuno de Santa Maria, Ferreira do Zêzere, Conde de Ourém e dos Templários. Este surge no âmbito do projeto CRER na Aprendizagem: Formação sem Fronteiras.

A Figura 7 apresenta algumas fotografias registadas durante a formação realizada. À esquerda colocou-se um amplificador áudio a atuar o sistema motriz de um disco rígido e acoplou-se-lhe uma cadeira. As ondas, ao fazerem vibrar as superfícies desta, tornam-se audíveis. À direita, termina-se o evento através da exploração de diversos protótipos/experiências pelos formandos.



Figura 7 – Imagens da formação realizada. À esquerda: reprodução sonora por vibração de objetos; à direita: utilização de experiências diversas pelos formandos.

Na formação, para além de outros temas, foram abordados os níveis sonoros e o ruído. Considerando que a partir de cerca de 80 a 90 dB os sons começam a causar perdas auditivas, os professores mostraram-se preocupados com a ocorrência frequente de tais níveis em contexto de sala de aula.

Surgiu, assim, a ideia de realizar um sistema relativamente simples, do género de um sonómetro, que, através de um mostrador luminoso de barras identificasse os níveis em sala de aula. Se fossem excedidos os 85 dB, os leds deveriam ser vermelhos, para chamar a atenção de que se estaria a exceder o máximo recomendável.

3.3.1 Projeto de “sonómetro”

Pretendeu-se que o protótipo em causa fosse alimentado por uma fonte externa, mas, tivesse a possibilidade de ser portátil, pelo que se escolheu uma tensão de alimentação de 9V, permitindo, deste modo a alimentação por uma bateria, caso fosse necessário.

Para conseguir transformar a onda sonora numa indicação luminosa é necessário que o sinal passe por vários andares de “processamento” do sinal. Através de um microfone de eletreto, capta-se a onda sonora, que é, por sua vez, convertida num sinal elétrico. Este é amplificado, para que atinja um nível considerado adequado. Aplica-se depois num retificador de precisão com filtragem e carga, para o converter numa tensão DC que varia com o nível sonoro, de acordo com a constante de tempo do filtro.

O último andar é constituído por vários comparadores que fazem ligar os correspondentes led’s, em função do nível sonoro em causa.

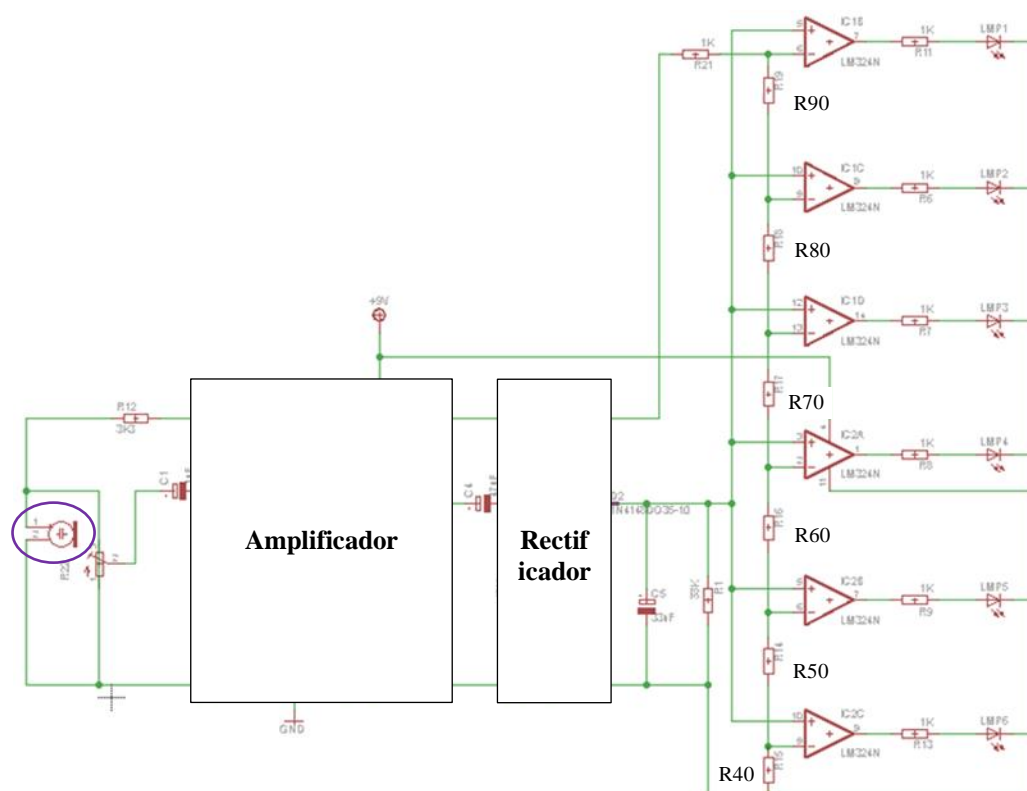


Figura 8 – Circuito elétrico do “sonómetro”.

O circuito encontra-se representado na Figura 8. Sabendo à partida que o sistema não é um sonómetro propriamente dito (ele utiliza o valor de pico da onda, em vez de eficaz, possui alguma ondulação no sinal por adição de uma constante de tempo à saída do retificador, etc.), a sua precisão será muito baixa. O seu objetivo é unicamente proporcionar um valor aproximado, e alertar, caso os níveis sejam relativamente elevados. No entanto, para que haja alguma coerência, calcularam-se na Tabela 1 os ganhos correspondentes aos vários Níveis de Pressão Sonora, NPS, em relação à referência (ou seja, aos 0 dB), assumindo que 90 dB correspondem a 8V (coluna da esquerda da tabela).

Tabela 1 – Cálculos do valor das resistências de referência dos comparadores.

Ganho linear correspondente ao NPS	Tensão de referência de cada comparador	Resistência, R, do divisor de tensão
$G_{90\text{ dB}} = 10^{\frac{90}{20}} = 31622$	$U_{ref\text{ comparador}} = 8V$	$R_{90} = (8-2,53).1\text{ k} = 5,47\text{ k}\Omega$
$G_{80\text{ dB}} = 10^{\frac{80}{20}} = 10000$	$U_{80} = \frac{8 * 10000}{31622} = 2,53V$	$R_{80} = (2,53-0,8).1\text{ k} = 1,73\text{ k}\Omega$
$G_{70\text{ dB}} = 10^{\frac{70}{20}} = 3162$	$U_{70} = \frac{2,53 * 3162}{10000} = 0,8V$	$R_{70} = (0,8-0,253).1\text{ k} = 547\ \Omega$
$G_{60\text{ dB}} = 10^{\frac{60}{20}} = 1000$	$U_{60} = \frac{0,8 * 1000}{3162} = 0,253V$	$R_{60} = (0,253-0,08).1\text{ k} = 173\ \Omega$
$G_{50\text{ dB}} = 10^{\frac{50}{20}} = 316$	$U_{50} = \frac{0,253 * 316}{1000} = 0,08V$	$R_{50} = (0,08-0,0253).1\text{ k} = 54,7\ \Omega$
$G_{40\text{ dB}} = 10^{\frac{40}{20}} = 100$	$U_{40} = \frac{0,08 * 100}{316} = 0,0253V$	$R_{40} = (0,0253-0,008).1\text{ k} = 17,3\ \Omega$



Figura 9 – “Sonómetro”: Caixa desenvolvida em 3D, e sistema já instalado.

Podem, agora, calcular-se os valores da tensão de referência correspondentes, para cada um dos comparadores que atuam os leds, (coluna do centro da tabela). Assumindo que estes se obtêm, através de divisores de tensão resistivos, que a tensão de alimentação é de 9V e que a resistência da parte superior do divisor de tensão é de 1 k Ω , pode-se a seguir, calcular o valor teórico, das resistências do divisor de tensão que define os valores das tensões anteriormente calculadas (o seu valor real é o mais aproximado, de entre as disponíveis em valores padronizados). Deste modo, um potenciómetro de volume à entrada define o ganho de base, permitindo uma calibração, e os restantes níveis serão coerentes entre si.

Posteriormente, foi ainda desenhada a placa de circuito impresso, e uma caixa, utilizando Software de desenho 3D. A caixa foi impressa em PLA (Ácido Polilático) numa impressora 3D, tal como o representado na Figura 9. Este encontra-se em testes em situação de sala de aula, com resultados positivos.

3.4 Participação em eventos.

Tal como o referido, para além da realização dos protótipos, os alunos da unidade curricular de projeto participaram no planeamento e realização de workshops e de ações de formação diversas. A título de exemplo, a Figura 10 mostra fotografias deste tipo de eventos, em contexto de sala de aula. A Figura 11 mostra fotografias de participações na comemoração do Dia da Criança na Mata dos Sete Montes, em Tomar, e na feira “Asas da Ciência”, em Torres Novas.

Na formação de professores procura-se que estes experimentem as práticas que se espera que venham posteriormente a desenvolver com os respetivos alunos. Nos workshops nas escolas implementa-se a abordagem *hands-on* numa perspetiva construtivista, com o objetivo de promover a aprendizagem sobre conceitos relacionados com a física do som.



Figura 10 – Fotos de workshops nas escolas.



Figura 11 – Fotos da feira “Asas da Ciência” e do Dia da Criança.

4 Conclusões

O presente artigo apresenta um trabalho centrado no desenvolvimento de protótipos para a implementação de uma abordagem ao ensino da física do som com base numa perspetiva construtivista do conhecimento. De facto, são cada vez mais as recomendações sobre a necessidade de implementar metodologias de ensino, em particular relacionadas com as STEAM, que motivem os estudantes para a aprendizagem e os preparem melhor para as carreiras futuras.

Os protótipos são desenvolvidos por estudantes do ensino superior (engenharia eletrotécnica), como parte da sua formação e são destinados a ser implementados na comunidade, com os consequentes desafios que correspondem à sua utilização em situação real em escolas do ensino básico ao secundário, feiras da ciência, formação de professores, entre outros, e por crianças.

Cumulativamente, estes participam ativamente nos eventos, verificando a aplicabilidade do sistema, e interagindo com o público-alvo, obtendo, assim, feedback, com vista a melhoramentos.

Dado que o seu trabalho é colocado ao serviço da comunidade, é deste modo, ainda, proporcionado aos estudantes envolvidos, um sentido de propósito e realização. Verificou-se que, com este método, contribui-se para uma aquisição de competências interdisciplinares, que incluem, para além dos assuntos relacionados com a matéria a transmitir, de capacidades de gestão, interação social, entre outros, importantes para a sua futura integração no mercado de trabalho.

Apesar das dificuldades acrescidas, colocadas pelo desenvolvimento de um protótipo para ser utilizado em contexto real, ao serviço da comunidade, verificou-se que esta abordagem, para além das já conhecidas vantagens do processo construtivista, promoveu o interesse e a aprendizagem dos estudantes que reconheceram a importância do seu trabalho e valorizaram a metodologia desenvolvida.

Como trabalho para o futuro, pretende-se estender a metodologia desenvolvida na comunidade nacional agora à comunidade internacional. O projeto **Erasmus+**, KA2, ProSTEAM - PROMoting STEAM education: partnership for disseminating good practices, decerto será um importante contributo neste sentido.

Agradecimentos

Agradece-se à CIMT no contexto do projeto “PEDIME – Plano estratégico de Desenvolvimento Intermunicipal da Educação no Médio Tejo (Funded by Centro 2020)”.

Referências

- [1] Piaget, J. (1967). *Biologist connaissance (Biology and knowledge)*. Gallimard, Paris.
- [2] Vygotsky, L.S. (1978). *Tool and symbol in child development*. In: Cole M, John-Steiner V., Scribner S., Souberman E. (Eds.) *Mind in Society: The development of higher psychological processes*. Harvard University Press, Cambridge.
- [3] Palinscar, A.S. (1998). *Social constructivist perspective in teaching and learning*. *Annual Rev Psychology* 49, pp. 345-375.
- [4] Sjøberg, S. (2010). *Constructivism and learning*. *International encyclopedia of education*, 5, 485-490.
- [5] Costa, M.C., Domingos, A.M.D., Teodoro, V.D., Vinhas, É.M.R.G. (2022). *Teacher Professional Development in STEM Education: An Integrated Approach with Real-World Scenarios in Portugal*. *Mathematics*, 10, 3944.
- [6] Costa, C., & Loureiro, L. (2016). *Learning by experimentation: Children’s laboratory experiences at the Polytechnic Institute of Tomar*. *International Journal of Learning and Teaching*. 8(2), 119-128.
- [7] Ferreira, C., Neves, P., Costa, C., & Teramo, D. *Socio-constructivist teaching powered by ICT in the STEM areas for primary school*. In *Information Systems and Technologies (CISTI), 2017 12th Iberian Conference on, 2017, June*, (pp. 1-5). IEEE.
- [8] Costa, M. C., Santos, P., Patrício, J. M., & Manso, A. (2021). *An Interactive Information System That Supports an Augmented Reality Game in the Context of Game-Based Learning*. *Multimodal Technologies and Interaction*, 5(12), 82, pp. 1-25.
- [9] Carvalho, V. B. (2011). *As influências do pensamento de John Dewey no cenário educacional brasileiro*. *Revista Redescobertas*, Ano 3, n. 1. pp. 58-77.

- [10] Crawford, L., Morris, P., Thomas, J., Winter, M. (2006). Practitioner development: From trained technicians to reflective practitioners. *Int. J. Proj. Manag.* 24, 722–733.
- [11] Nixon, P. Young, T. Brown, E. Wiltshire, L. (2015). Interdisciplinary Benefits: Encouraging Creative Collaboration, North East Scotland College; Paper 16.
- [12] Ed Fong, Scott Bobo, “Designing for EMI Regulatory Compliance”, Tripath Application Note 11, April 1999.
- [13] Karsten Nielsen, “Audio Power Amplifier Techniques with Energy Efficient Power Conversion”, Technical University of Denmark, Ph. D. Thesis, April 1998.
- [14] Small, R. H. (1972). Closed-Box loudspeaker Systems Part I: Analysis, *J. Audio Eng. Soc.*, vol. 20, no. 10, pp. 798-808.
- [15] Thiele N. (1971). Loudspeakers in Vented Boxes: Part I. *J. Audio Eng. Soc.*, vol. 19, no. 5, pp. 382-392.