

SISTEMA DE EQUALIZAÇÃO DE ÁUDIO PORTÁTIL NA FORMAÇÃO DE ENGENHARIA ELETRÔNICA

NÍCOLAS SPIERING GERI¹; CAROLINE VERGARA FONSECA NUNES²; JEAN GARCIA RAMOS³ OCTAVIO JOUBER OLIVEIRA DA SILVA⁴

MARCELO LEMOS ROSSI⁵:

¹Universidade Federal de Pelotas – nicolasspieriengeri1@gmail.com

²Universidade Federal de Pelotas – carolinevfn@gmail.com

³Universidade Federal de Pelotas – jeangarciaramos@gmail.com

⁴Universidade Federal de Pelotas – octaviojoubert@gmail.com

⁵Universidade Federal de Pelotas – marcelo.rossi@ufpel.edu.br

1. INTRODUÇÃO

Existem várias teorias que tentam demonstrar como ocorre o processo de aprendizado. Dentre elas podemos destacar algumas:

A teoria de VYGOSTKY (1987, apud LAMPREIA, 1999), que indica que o aprendizado passa por um papel do social, em que “a formação de conceitos científicos se dá na escola a partir da cooperação entre o aluno e o professor que, trabalhando com o aluno, explica, dá informações, questiona, corrige e faz o aluno explicar”. Em outras palavras, o aprendizado de um indivíduo contido em um grupo social irá aprender o que seu grupo produz, ou seja, o conhecimento surge primeiro no grupo e, então é interiorizado pelo indivíduo.

A teoria de CARL ROGERS (apud MOGILKA, 1999) indicando que o aprendizado experimental, considera que “uma ação pedagógica só é efetivamente democrática quando se baseia no interesse genuíno, na necessidade e na motivação intrínseca do indivíduo”. Assim, de acordo com Rogers, a motivação é um fator essencial para o aprendizado bem-sucedido.

Por fim, podemos apresentar a visão de aprendizado de Paulo Freire que, de acordo com GADOTTI (1999, apud ALBINO, 2003) indica que o educador e educando aprendem juntos numa relação dinâmica, na qual a prática é orientada pela teoria, que reorienta essa prática, num processo de constante aperfeiçoamento.

A ideia trazida por esses três estudiosos do processo de aprendizado se resume em: O trabalho em grupo (o orientador e seus orientados) produz e dissemina o conhecimento no grupo; o interesse do aluno é fundamental no aprendizado; e prática é necessária para o aprendizado, sendo a teoria ligada a essa prática. Com isso em mente montou-se um grupo com objetivos de colocar em prática o aprendizado. Neste grupo, formado por alunos do curso de Engenharia Eletrônica, surgiu o interesse de trabalhar com processamento digital de sinais, mas especificamente no desenvolvimento de um sistema de equalização de áudio, de forma a estudar e colocar em prática questões como o desenvolvimento de filtros e a aplicação deles em sistemas embarcados.

A motivação para este estudo se deve à crescente utilização de sistemas embarcados em projetos de engenharia eletrônica, realizando atividades, principalmente, de processamento digital de sinais. Tendo essa premissa como base este grupo de estudantes escolheram o desafio de desenvolver um sistema embarcado capaz de funcionar como equalizador de áudio e, com isso, desenvolver as capacidades na área de processamento digital de sinais, com o

desenvolvimento de filtros digitais, especificando e projetando eles; programação de sistemas embarcados, de forma a implementação do projeto dos filtros em uma plataforma programável o que possibilitou trabalhar com gerenciamento de memória e recursos computacionais mais simples; e, também, com eletrônica, especificando os componentes que se interligam de forma que o projeto possa funcionar.

2. ATIVIDADES REALIZADAS

Equalizadores de áudio são amplamente utilizados em música, radiodifusão e dispositivos de consumo. Eles permitem alterar seletivamente a intensidade de diferentes faixas de frequência, garantindo maior clareza e personalização sonora. Tradicionalmente, essa função era implementada de forma analógica; entretanto, os avanços em microcontroladores tornaram possível desenvolver equalizadores digitais acessíveis, flexíveis e mais precisos.

O projeto desenvolvido utilizou o ESP32-S3, microcontrolador que combina elevado poder de processamento, conectividade Wi-Fi integrada e suporte a interfaces digitais de áudio. O equalizador proposto divide o sinal em cinco faixas de frequência: graves (<150 Hz), médio-graves (150–600 Hz), médios (600 Hz–2,5 kHz), médio-agudos (2,5–7 kHz) e agudos (>7 kHz). Cada faixa possui ganho ajustável em tempo real por meio de uma interface web.

O funcionamento do sistema pode ser descrito em três etapas principais: aquisição e leitura do áudio, filtragem digital e transmissão do sinal processado.

Aquisição do Áudio

O áudio foi armazenado no microcontrolador no formato WAV. Durante a execução, as amostras são lidas sequencialmente, com taxa de amostragem de 22,05 kHz, valor suficiente para representar sinais audíveis de até 11 kHz, em conformidade com o teorema de Nyquist.

Filtragem Digital por Bandas

Para isolar as regiões espectrais, projetaram-se filtros FIR (Finite Impulse Response) de 65 coeficientes (taps). A escolha por esse tipo de filtro garante estabilidade e previsibilidade no processamento. Os coeficientes foram calculados em ambiente de simulação utilizando a biblioteca *SciPy* e posteriormente convertidos para valores inteiros de 16 bits, compatíveis com a execução em tempo real no microcontrolador.

A operação de filtragem segue a equação:

$$y[n] = \sum_{k=0}^{N-1} h[k] \cdot x[n-k]$$

em que $y[n]$ representa a saída filtrada, $x[n]$ o sinal de entrada, $h[k]$ os coeficientes do filtro e N o número de taps.

Cada banda foi processada de forma independente, resultando em cinco sinais. Os ganhos definidos pelo usuário foram aplicados a cada sinal, e, em seguida, as bandas foram recombinadas para formar a saída final.

Saída e Transmissão

O sinal equalizado foi limitado ao intervalo de 16 bits (−32768 a 32767) e transmitido via interface I²S para um conversor digital-analógico externo (DAC), permitindo a reprodução em estéreo. O protocolo foi configurado em modo mestre de transmissão, com resolução de 16 bits por amostra.

Interface Web

O ESP32-S3 também foi configurado como Access Point, criando uma rede Wi-Fi própria. Ao acessar o endereço disponibilizado, o usuário encontrava uma interface gráfica intuitiva, com controles deslizantes verticais para cada banda, possibilitando ajustes de ganho entre 0 e 2,5 vezes o valor original. As alterações realizadas na interface eram enviadas por requisições HTTP ao microcontrolador e aplicadas imediatamente ao áudio.

Resultados Obtidos

O sistema mostrou-se funcional, reproduzindo áudio com boa estabilidade e resposta rápida. Os filtros apresentaram seletividade adequada, com atenuação superior a 20 dB fora da faixa de interesse. O uso de 65 taps representou um equilíbrio entre qualidade sonora e custo computacional, viabilizando o processamento em tempo real sem sobrecarregar o dispositivo. O projeto alcançou latência mínima e baixo consumo de energia, características importantes para aplicações portáteis. Além disso, a interface web se mostrou prática e acessível, funcionando em dispositivos móveis e computadores sem necessidade de configuração adicional.

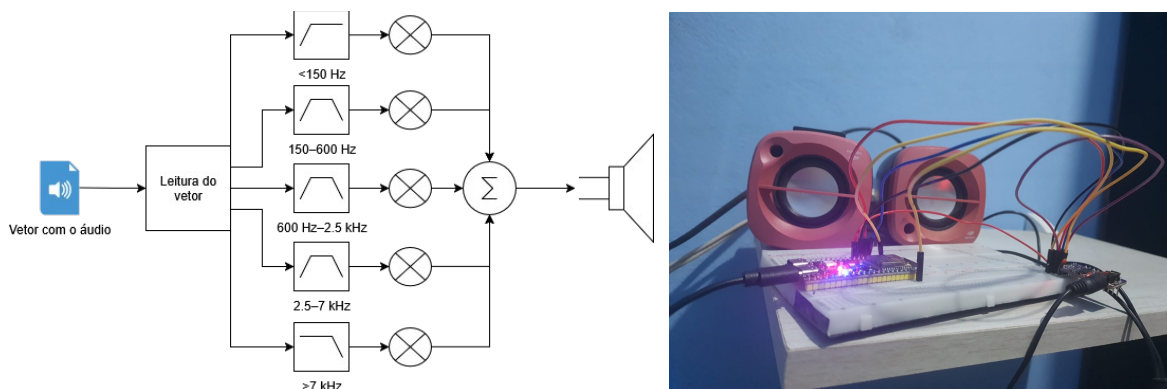


Figura 1. Diagrama de blocos do sistema e protótipo construído.

3. IMPACTOS NA FORMAÇÃO DOS PARTICIPANTES DESTA PROJETO

A realização deste projeto proporcionou aos alunos uma experiência formativa que extrapolou a teoria estudada em sala de aula.

No campo do processamento digital de sinais, os estudantes puderam projetar e aplicar filtros digitais em um caso real, compreendendo melhor como as respostas em frequência impactam diretamente na percepção auditiva.

Na área de sistemas embarcados, o grupo lidou com aspectos práticos de programação em microcontroladores, incluindo gerenciamento de memória, uso de interrupções, configuração de periféricos e integração de hardware e software.

Essa vivência reforçou a autonomia e a capacidade de solucionar problemas em ambiente restrito de recursos.

O trabalho também promoveu habilidades de colaboração, pois exigiu divisão de tarefas, integração de resultados parciais e constante comunicação entre os membros. Essa prática de cooperação refletiu, de maneira concreta, os princípios defendidos por Vygotsky, Rogers e Paulo Freire: a importância da interação social, da motivação pessoal e da articulação entre teoria e prática no processo de aprendizado.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O projeto comprovou a viabilidade de se implementar um equalizador digital multibanda em um microcontrolador de baixo custo, dispensando processadores de sinais dedicados. A solução combina simplicidade de hardware, flexibilidade de software e uma interface acessível, mostrando-se adequada para aplicações educacionais, experimentos de áudio e projetos portáteis.

Sob o ponto de vista pedagógico, a atividade foi fundamental para consolidar a ligação entre teoria e prática, permitindo que os alunos vivenciassem todas as etapas de concepção, implementação e avaliação de um sistema eletrônico. O aprendizado resultante refletiu diretamente na formação profissional dos envolvidos, preparando-os para desafios futuros na área de engenharia.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBINO, Ayrán Lavra. A escola na internet: uma parceria entre o ensino presencial e o ensino a distância. 2003. **Dissertação (Mestrado em Engenharia da Produção)** – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

LAMPREIA, Carolina. **Linguagem e atividade no desenvolvimento cognitivo: algumas reflexões sobre as contribuições de Vygotsky e Leontiev**. Porto Alegre, v. 12, n. 1, 1999.

MOGILKA, Maurício. **Autonomia e formação humana em situações pedagógicas: um difícil percurso**. São Paulo, v. 25, n. 2, 1999

DINIZ, P. S. R. **Processamento digital de sinais: projeto e análise de sistemas. 2. ed.** Porto Alegre: Bookman, 2014. 1 recurso online. ISBN 9788582601242.

NALON, J. A. **Introdução ao processamento digital de sinais**. Rio de Janeiro: LTC, 2009. 1 recurso online. ISBN 978-85-216-2615-2.