

Quantização Tangível: Modelos em CNC para o Ensino de Processamento de Sinais

Igor Forcelli, Antonio Marcos, Adelson Ataíde, Arthur Bernardo, Caio Cunha, Suzete Correia

Resumo— As disciplinas na grade curricular das engenharias exigem pensamento matemático e grau de abstração elevado, necessitando de novas abordagens que aumentem o estímulo e o interesse por parte dos discentes. Neste trabalho é apresentado um kit didático para o ensino de quantização em disciplinas que envolve o conceito de digitalização de sinais. O protótipo foi fabricado empregando um Controle Numérico Computadorizado (CNC) e materiais de custo acessível, como MDF e acrílico. Como resultado, constatou-se benefícios com o seu uso, no processo de ensino-aprendizagem, de acordo com formulário de validação aplicado.

Palavras-Chave— Kit Didático, Métodos de Ensino-aprendizagem, Processamento Digital de Sinais, Processo de quantização.

I. INTRODUÇÃO

O modelo tradicional de ensino-aprendizagem baseia-se na visão enciclopedista, na fragmentação do conhecimento em disciplinas, na transmissão unidirecional do professor e na passividade dos alunos, que são incentivados à memorização dos conceitos, para posteriormente reproduzirem em avaliações periódicas. Esse formato não está alinhado às demandas das Novas Diretrizes Curriculares Nacionais dos Cursos de Graduação em Engenharias, cujo objetivo é formar engenheiros com visão holística, senso crítico, capazes de compreender fenômenos físicos por meio de modelos verificados e validados por experimentação [1].

Considerando o desenvolvimento das competências citadas, faz-se necessário a utilização de novos modelos pedagógicos, mais compatíveis às necessidades de formação atual, como a metodologia significativa [2]. A teoria de aprendizagem significativa de Ausubel [3] apresenta um repertório teórico de ensino-aprendizagem que busca valorizar a participação do aluno no processo de construção da aprendizagem.

Um caminho possível para proporcionar uma aprendizagem significativa é através de práticas, propondo atividades que permitam um certo grau de liberdade ao aluno, isto é, realizar uma investigação dirigida. Os trabalhos práticos são apresentados como uma maneira de privilegiar a participação do aluno na construção do conhecimento, nesta perspectiva, o

Igor Forcelli, Coordenação de Engenharia Elétrica, IFPB Campus João Pessoa, e-mail: igorforcelli@outlook.com; Antonio Marcos, Coordenação de Automação Industrial, IFPB Campus Itabaiana, e-mail: antonio.marcos@ifpb.edu.br; Adelson Ataíde, Coordenação de Engenharia Elétrica, IFPB Campus João Pessoa, e-mail: adelson.forgotten@gmail.com; Arthur Bernardo, Coordenação de Engenharia Elétrica, IFPB Campus João Pessoa, e-mail: arthurbernardobarbosa@gmail.com; Caio Cunha, Coordenação de Engenharia Elétrica, IFPB Campus João Pessoa, e-mail: caiocro@gmail.com; Suzete Correia, Coordenação de Engenharia Elétrica, IFPB Campus João Pessoa, e-mail: suzete.correia@gmail.com;

aluno deixa de ser um mero receptor de conceitos, teorias e soluções prontas [4].

Kits didáticos podem ser empregados como um meio para auxiliar novas metodologias de ensino, por permitir a materialização de protótipos táteis que, por conseguinte, instrumentalizam o processo de aprendizagem. No âmbito da engenharia elétrica, existem bancadas didáticas comerciais, bem como são propostos protótipos de baixo custo para o aprendizado de automação [5], prática de circuitos digitais [6] e projetos de eletrônica [7], por exemplo.

Nas últimas décadas, a digitalização de sistemas analógicos tem ocorrido em diversas áreas, como telecomunicações e processamento de áudio e imagem, tendo em vista que as informações podem ser processadas e armazenadas de forma mais eficiente, com menor suscetibilidade a ruídos e maior flexibilidade [8]. Na conversão analógico / digital são empregadas três etapas: amostragem, quantização e codificação. Numa perspectiva de ensino por meio de projetos, comumente esses conceitos podem ser explorados através do uso de linguagens de programação e softwares como o MATLAB [9].

Neste trabalho é apresentado um kit didático, confeccionado em MDF e acrílico, com o uso de um Controle Numérico Computadorizado (CNC), para o entendimento do processo de quantização de forma lúdica e intuitiva. O protótipo foi testado em turmas das disciplinas de Sinais e Sistemas e Processamento Digital de Sinais, do curso superior de Engenharia Elétrica, de uma Instituição de Ensino Superior. Para sua validação, foi aplicado com os alunos participantes, um formulário contendo perguntas sobre sua usabilidade.

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para a conversão de um sinal analógico de tempo contínuo em uma versão digital de tempo discreto são empregadas três etapas: amostragem, quantização e codificação. A amostragem consiste em se coletar valores do sinal original de tempo contínuo $x(t)$, em intervalos de tempo regulares, denominado período de amostragem, formando uma sequência de amostras. Matematicamente pode ser representada pela relação [10]:

$$x[n] = x(t)|_{t=nT_a} = x[nT_a], \quad (1)$$

em que $x[n]$ é o sinal em tempo discreto e n é um número inteiro que representa a quantidade de amostras.

O Teorema da amostragem, ou Teorema de Nyquist, afirma que para recuperar um sinal contínuo de forma precisa, a partir de amostras, a frequência de amostragem precisa ser maior que duas vezes a frequência mais alta do sinal original. A frequência de amostragem corresponde ao inverso do período

de amostragem e é medida em Hertz (Hz), indicando quantas amostras são coletadas por segundo. Caso o teorema não seja atendido, o processo de amostragem pode ocasionar uma distorção do sinal [10,12].

Na etapa da quantização as amplitudes das amostras são discretizadas, ou seja, arredondadas para os níveis de tensão (níveis de quantização) preestabelecidos, resultando em um sinal digital. Nesse processo cada valor de amplitude amostrada é mapeado para o valor digital mais próximo, em uma tabela de níveis de quantização. Quando essa tabela é definida por intervalos iguais, com limites e valores de reconstrução espaçados uniformemente, a quantização é dita uniforme [12].

O comprimento do passo do quantizador uniforme é simbolizado por Δ e pode ser obtido por:

$$\Delta = \frac{X_m}{2^B} \quad (2)$$

em que B é o número de bits, que determina a quantidade de níveis de quantização e X_m é o valor máximo da faixa de amplitudes do sinal analógico. É preferível que o passo do quantizador seja o menor possível, pois quanto menor o comprimento do passo, menor o erro de quantização e maior a resolução do sinal digital [12].

Um fator importante na etapa da quantização é o erro associado ao processo, que é obtido através da diferença entre o valor da amostra digitalizada e o valor original da amostra. Esse erro modifica o sinal original introduzindo ruídos nas frequências mais altas. Para reduzir os erros de quantização, pode-se aumentar a resolução em bits do quantizador, aumentando a quantidade de níveis [12].

Na saída do quantizador o sinal encontra-se digitalizado, possuindo um número finito de valores de tensão. Caso se deseje uma representação binária, para cada um dos níveis de quantização é atribuída uma palavra código.

III. METODOLOGIA

Para a realização do kit didático proposto, inicialmente escolheu-se uma função seno, como sinal analógico a ser digitalizado. Foi utilizado o GeoGebra, um aplicativo computacional livre de matemática, para a simulação de várias funções seno, com frequências diferentes, sendo escolhida para o protótipo a função com período igual a 30 segundos. Após a determinação da função a ser amostrada e quantizada, foi feita a modelagem do kit didático, em escala real, no programa AutoCAD 2022 (versão estudante), conforme pode ser observado na Fig. 1. Foi pensada em uma plataforma plana, contendo a função seno impressa, de modo que os alunos pudessem ir sobrepondo ao desenho, peças retangulares, representando amostras com alturas predefinidas, permitindo a visualização do processo de quantização. Optou-se por confeccionar a base na dimensão de 42 x 42 cm.

Na Fig. 1(a) tem-se a ilustração gráfica da plataforma plana do kit. Foram feitas gradações nos eixos x e y, semelhante a uma régua, com intuito de facilitar a identificação dos níveis que os discentes utilizarão para quantizar a função seno.

Para as amostras quantizadas foram desenhadas peças (Fig. 1(c)) de 1 cm de espessura e com alturas entre 1,875 cm e 15 cm, possibilitando que se teste as quantizações de 2, 4,

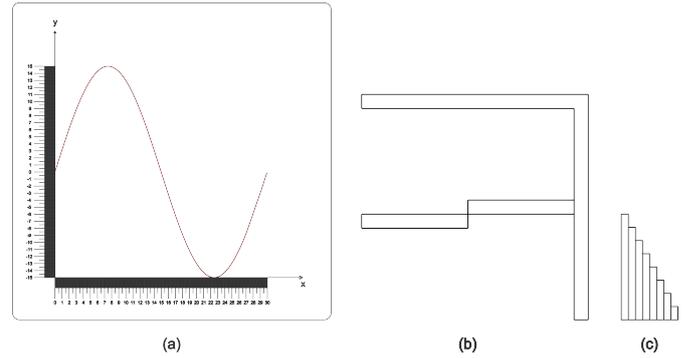


Fig. 1. Desenho do protótipo desenvolvido.

8 e 16 níveis. Também foi desenhado um suporte (Fig. 1(b)) para apoiar as amostras. O arquivo com o modelo foi salvo no formato DXF.

O programa utilizado para carregar os desenhos criados no AutoCAD e gerar o código de corte foi o RD Works (V8.1.40). O código de corte foi enviado do computador para o CNC via porta USB.

Como matéria prima para a confecção da base plana foi empregado um pedaço de chapa de MDF cru, com espessura de 6 mm. Para a confecção do suporte e das peças que correspondem às amostras de quantização, optou-se pela utilização de chapa de acrílico, com espessura de 2 mm. Como as amostras devem ser posicionadas por cima da função seno, o acrílico transparente, permite a visualização da função impressa no tablado, permitindo a comparação do sinal analógico da sua representação digital.

Por conta do aspecto queimado após o corte, a peça foi lixada com uma lixa de madeira número 220. Após isso, foi preenchida a curva da função seno com tinta preta e realizada a fixação do suporte (Fig. 1(b)), que recebeu uma fita adesiva branca. Adicionalmente, foram utilizadas fitas adesivas coloridas nas peças de acrílico para diferenciar os tamanhos, ou seja, os níveis de quantização.

A Fig 2. ilustra a plataforma de MDF do protótipo desenvolvido.

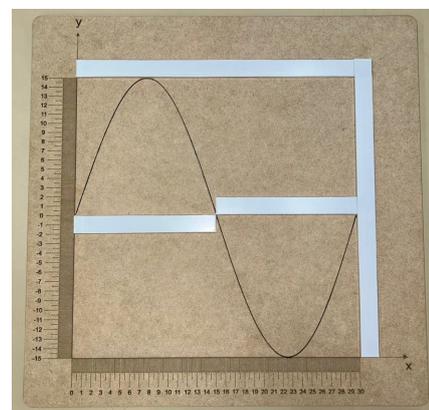


Fig. 2. Protótipo desenvolvido.

IV. RESULTADOS

Nas Fig. 3. é ilustrado o protótipo desenvolvido e sua utilização para representar as quantizações de 2, 4, 8 e 16 níveis. Observa-se que é possível comparar a versão digitalizada com a função seno em tempo contínuo, impressa na base de MDF. Podem ser explorados e visualizados os conceitos de passo de quantização e o erro associado à representação digital. Fica intuitivo perceber que ao aumentar a quantidade de níveis, a representação fica mais fiel a original e o erro diminui. O kit também auxilia no entendimento da amostragem, tendo em vista que são amostras que são posicionadas na plataforma. Durante a aplicação em aula, o Teorema da Amostragem também pode ser explorado.

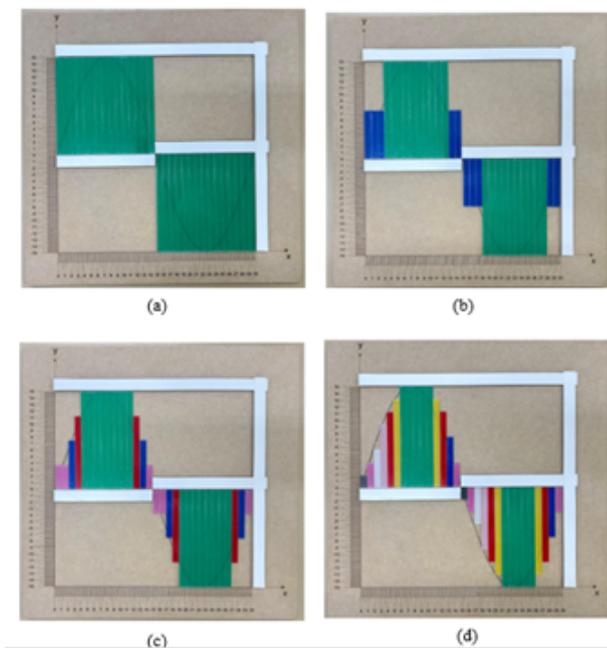


Fig. 3. Resultado do kit didático de quantização uniforme para (a) 2 níveis, (b) 4 níveis, (c) 8 níveis e (d) 16 níveis.

O kit foi aplicado a 39 alunos das disciplinas de Sinais e Sistemas e Processamento Digital de Sinais, do curso de Engenharia Elétrica, que ficaram livres para manusear e montar, em grupo, os 04 possíveis níveis de quantização. Após a exposição teórica, uma aula prática de 50 minutos com o kit era realizada. Os alunos eram instigados a responderem perguntas sobre o erro de quantização e se a quantidade de amostras eram suficientes para a representação da função seno.

Em formulário aplicado, numa escala de 1 a 5, sendo 5 a maior pontuação, em torno de 38,5% dos alunos deram nota 5 e 61,5% deram nota 4 quando perguntados sobre a melhora da compreensão dos conceitos de quantização. Um total de 84% deu nota máxima na contribuição do protótipo para a visualização e/ou experimentação prática dos conceitos abordados. Em termos de usabilidade, 53,8% deram nota 5, 38,5% deram nota 4 e 7,7% nota 3. Relatos afirmam que os elementos de acrílico que representam os níveis de quantização contribuem significativamente para a compreensão dos conceitos, bem como a iteratividade do processo. Foi sugerido a adaptação do projeto para torná-lo acessível a pessoas com

deficiência visual, incluindo, por exemplo, recursos em braile e a inserção de régua móvel para localizar medidas com mais precisão.

V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho consistiu no desenvolvimento de um protótipo didático de custo acessível para estudo prático do processo de quantização, objetivando maior participação e compreensão por parte dos discentes, em relação aos conceitos abordados nas disciplinas de Sinais e Sistemas e Processamento Digital de Sinais.

De forma geral, os resultados alcançados neste estudo indicam que o kit desenvolvido pode ser empregado como uma ferramenta metodológica de ensino. Em formulário aplicado para sua validação, o retorno foi positivo quanto a efetividade de recurso didático no processo de ensino-aprendizagem dos conceitos que envolvem a digitalização de sinais, tendo uma aprovação de 92,3%. Pretende-se como aprimoramento incluir uma grade quadriculada no fundo, para melhorar as medições dos níveis de quantização, bem como expandir o conceito para outras funções matemáticas.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, do Campus João Pessoa e Itabaiana e ao PETEE-IFPB (Programa de Educação Tutorial de Engenharia Elétrica do Instituto Federal da Paraíba), pelo apoio técnico e financeiro.

REFERÊNCIAS

- [1] Brasil. *Ministério de Educação*. Base Nacional Comum Curricular. Brasília, 2019.
- [2] A. S. de Carvalho, *Mecatas: um modelo para o ensino-aprendizagem de engenharia de controle e automação baseado na teoria da aprendizagem significativa*. 2011. Tese (Doutorado em Informática da Educação) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.
- [3] D. P. Ausubel, *Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva*. 2003.
- [4] K. Giani, *A experimentação no ensino de ciências: possibilidades e limites na busca de uma aprendizagem significativa*. 2010. 190 f. Dissertação (mestrado) - Universidade de Brasília. 2010.
- [5] A. M. da Silva Filho et al., *Desenvolvimento de kits didáticos para o aprendizado da automação*. In: XL Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia. Belém, Pará, Brasil. 2012.
- [6] F. L. Teófilo, *Kit didático para a prática de circuitos digitais*. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciência e Tecnologia) — Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Campus Pau dos Ferros, Pau dos Ferros/RN, 2015.
- [7] L. F. Quintino et al., *Kit didático de baixo custo para práticas interdisciplinares em cursos de Engenharia Eletrônica*. Revista Principia, n. 34, p. 124-131, 2017.
- [8] A. Senda, et al., *Aplicações de processamento digital de sinais em engenharia elétrica*. In: XXXIII Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia. 2005.
- [9] G. B. Habersfeld, *Tutorial de MATLAB para sinais e sistemas e matérias relacionadas*. Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio), 15 jun. 2015.
- [10] M. B. Joaquim, *Processamento digital de sinais*. São Carlos, 2010.
- [11] K. Shin; J. Hammond, *Fundamentals of signal processing for sound and vibration engineers*. John Wiley & Sons, 2008.
- [12] J. G. Proakis et al., *Communication systems engineering*. New Jersey: Prentice Hall, 1994.