



FERRAMENTA PARA O ENSINO DE QUANTIZAÇÃO VETORIAL EM CURSOS DE ENGENHARIA ELÉTRICA

Jair Galvão – jair.galvao@upe.br
Escola Politécnica de Pernambuco – POLI/UPE
Rua Benfica, 455, Madalena
CEP: 50720-001 – Recife – PE

Verusca Severo – verusca.severo@gmail.com
Escola Politécnica de Pernambuco – POLI/UPE
Rua Benfica, 455, Madalena
CEP: 50720-001 – Recife – PE

Lylian Kelly de Siqueira Gomes – gomes.lylian@gmail.com
Escola Politécnica de Pernambuco – POLI/UPE
Rua Benfica, 455, Madalena
CEP: 50720-001 – Recife – PE

Francisco Madeiro – madeiro@poli.br
Escola Politécnica de Pernambuco – POLI/UPE
Rua Benfica, 455, Madalena
CEP: 50720-001 – Recife – PE

Resumo: Este trabalho apresenta uma ferramenta para auxiliar o ensino de quantização vetorial (QV) em cursos de engenharia elétrica. A QV é pouco abordada ou até mesmo não contemplada nos cursos, mesmo sendo bastante aplicada ao desenvolvimento de sistemas, dentre os quais podem ser citados: compressão de voz, compressão de imagem, esteganografia, marca d'água digital, identificação vocal e reconhecimento de manuscritos. O objetivo da ferramenta é contribuir para consolidar os fundamentos de QV e permitir ao aluno familiarização quanto à aplicação da técnica em compressão de sinais. Os resultados da aplicação desta ferramenta aos alunos do curso de processamento digital de sinais da Escola Politécnica de Pernambuco mostraram que 100% deles ficaram satisfeitos com sua utilização e enfatizaram a importância de instrumentos didáticos no auxílio do ensino de engenharia. Os alunos também recomendaram a utilização da ferramenta nas próximas turmas e aproximadamente 60% dos alunos sentiram-se estimulados para a produção de trabalhos futuros com temas relacionados abordados nos experimentos.

Palavras-chave: Processamento digital de sinais, Quantização Vetorial, Ensino em engenharia elétrica.

1. INTRODUÇÃO

O avanço da tecnologia vem possibilitando o desenvolvimento de ferramentas para auxiliar nas disciplinas dos cursos de engenharias (Fidelis and Oliveira 2013). *Softwares* didáticos são desenvolvidos com o objetivo de aproximar os alunos dos problemas práticos do mundo real (Alves and Velozo 2013).

Dentre os assuntos de interesse no âmbito de comunicações ou processamento digital de sinais, a quantização tem sido objeto de estudo em algumas disciplinas, dentre as quais podem ser citadas: Princípios de Comunicações, Sistemas de Comunicações, Telefonia e Processamento Digital de Imagens.

Em geral, nas disciplinas de graduação de cursos de Engenharia Elétrica, o foco é dado à quantização escalar, sendo frequentemente negligenciada ou muito pouco abordada a quantização vetorial, apesar do amplo espectro de possíveis aplicações que fazem uso da técnica, como por exemplo: compressão de voz, compressão de imagem, esteganografia, marca d'água digital, identificação vocal e reconhecimento de manuscritos.

No presente trabalho, é apresentada uma ferramenta para apoio ao ensino de quantização vetorial (QV). A ferramenta foi desenvolvida com o objetivo de apresentar os fundamentos básicos da QV e seu uso no âmbito de compressão de imagens, permitindo que o aluno compreenda, no cenário de codificação de imagens, a importância da complexidade computacional de técnicas de busca do vizinho mais próximo (codificação por distância mínima).

A ferramenta é descrita neste artigo, sendo apresentados os resultados obtidos com a aplicação de um questionário a um grupo de alunos que utilizaram a ferramenta. O questionário contempla aspectos de usabilidade, aceitação e contribuição da ferramenta para o ensino de quantização vetorial.

2. QUANTIZAÇÃO VETORIAL

Armazenamento de imagens médicas, arquivamento de impressões digitais, comunicação multimídia, transmissão de imagens de sensoriamento remoto obtidas por satélite e navegação web são algumas das aplicações em que as técnicas de compressão de sinais se mostram essenciais.

O objetivo de um sistema de compressão de sinais é reduzir a quantidade de bits necessários para representar adequadamente os sinais, visando diminuir os requisitos de largura de banda, em aplicações que envolvem transmissão, e de memória, em aplicações que envolvem armazenamento (Chen and Huang 2009; Mahapatra and Jena 2013).

A Quantização Vetorial (QV) (Gray 1984; Linde, Buzo, and Gray 1980) destaca-se como uma poderosa técnica para compressão de sinais. No cenário da codificação digital de sinais, a QV é uma técnica de compressão com perdas, sendo o sinal reconstruído uma versão degradada do sinal original.

A QV pode ser vista como um mapeamento de um vetor de entrada x em um vetor pertencente a um subconjunto finito chamado dicionário W . O dicionário $W = \{w_1, w_2, \dots, w_N\}$, de tamanho N , é o conjunto formado por N vetores-código, também denominados vetores de reconstrução ou vetores de reprodução (Gray 1984; Hui and Chang 2012; Linde *et*



al. 1980). Para cada vetor de entrada é feito o mapeamento para o vetor-código que apresente a menor distorção.

A QV tem sido utilizada com sucesso em sistemas de codificação de sinais permitindo elevadas taxas de compressão (Galvão 2014; Madeiro and Lopes 2011). A QV tem sido utilizada também em outros sistemas de processamento de sinais, como é o caso de sistemas de esteganografia (Kumar, Natarajan, and Bhogadi 2013; Lee, Chiou, and Guo 2013; Qin, Chang, and Chen 2013) e marca d'agua digital (Wang, Jain, and Pan 2007; Zhou, Wang, and Yan 2010) e identificação vocal (Madeiro *et al.* 2007). O desempenho de sistemas de processamento de sinais baseados em QV depende da qualidade dos dicionários projetados. Em codificação de imagem baseada em QV, a qualidade das imagens reconstruídas depende fortemente dos dicionários projetados.

Projeto de Dicionário

O projeto de dicionários desempenha um papel importante para o bom desempenho de sistemas de codificação baseados em quantização vetorial (Madeiro 2001). A QV introduz distorção entre os vetores originais e suas respectivas versões quantizadas.

O objetivo das técnicas de projeto de dicionários é encontrar N vetores-código para um determinado conjunto de M vetores de treino que reduza a distorção introduzida ao se representarem os vetores de entrada (x) por suas correspondentes versões quantizadas.

Dentre as técnicas de projeto de dicionário, o algoritmo de *Linde-Buzo-Gray* (LBG) (Linde *et al.* 1980), também conhecido como algoritmo *K-means* ou algoritmo de *Lloyd* generalizado (GLA, *Generalized Lloyd Algorithm*), destaca-se por sua ampla utilização. O algoritmo LBG começa com uma solução inicial que é melhorada de forma iterativa.

Regiões de Voronoi

O objetivo do projeto de dicionários é obter uma boa representação de um espaço (conjunto treino) utilizando uma quantidade menor de vetores. O processo consiste em agrupar em regiões os vetores de amostras extraídas do conjunto de treino, em que vetores do mesmo grupo apresentem alta similaridade entre si e baixa similaridade com vetores pertencentes às outras regiões. Essas regiões são denominadas regiões de Voronoi e a similaridade entre os vetores é definida segundo uma medida de distância.

A região de Voronoi é definida por um centróide o qual é um vetor-código do dicionário, e constitui o vetor representativo de todo os vetores de entrada pertencentes à região de Voronoi em questão.

3. METODOLOGIA

Desenvolvimento da ferramenta

A ferramenta foi desenvolvida em C# (C Sharp) para uma aplicação *desktop*, com a interface de desenvolvimento Visual Studio 2013[®] da Microsoft[®]. O computador utilizado para desenvolvimento da ferramenta e realização dos experimentos tem a seguinte configuração: processador AMD[®] FX(tm)-6100 de 3,30 GHz com seis núcleos de processamento, 4 GB de memória RAM DDR3, placa mãe Asus[®] M5A78L-M, HD com 500 GB e sistema operacional Windows 7 Professional[®].

Aplicação da ferramenta

Antecedendo a aplicação da ferramenta, os alunos receberam uma revisão sobre Quantização Vetorial abordando características do processo do projeto de dicionários. Posteriormente à revisão, a ferramenta foi apresentada aos alunos, que receberam um guia de experimentos contendo exercícios práticos.

O guia de experimento foi desenvolvido com a finalidade de auxiliar o aluno na utilização da ferramenta. As atividades dos experimentos abordaram o processo de clusterização, ou seja, agrupamento de dados (regiões de Voronoi), projeto de dicionários e a complexidade computacional no processo de reconstrução do sinal quantizado.

Avaliação

Para a avaliação da ferramenta foi elaborado um questionário, preenchido pelos alunos após a utilização da ferramenta. O questionário de avaliação aborda critérios de usabilidade, aceitação, satisfação e desenvolvimento de trabalhos futuros sobre os assuntos abordados na ferramenta. As perguntas do questionário podem ser vistas na Tabela 1.

Tabela 1 - Tabela com o questionário de avaliação.

	Pergunta	Nota
1.1	A ferramenta lhe auxiliou na compreensão de tópicos apresentados na disciplina?	<input type="checkbox"/> Muito pouco <input type="checkbox"/> Pouco <input type="checkbox"/> Razoavelmente <input type="checkbox"/> Muito
1.2	As saídas gráficas e as animações apresentadas pela ferramenta facilitaram observar o processo de quantização?	<input type="checkbox"/> Muito pouco <input type="checkbox"/> Pouco <input type="checkbox"/> Razoavelmente <input type="checkbox"/> Muito
1.3	Sentiu facilidade em utilizar a ferramenta?	<input type="checkbox"/> Muito pouco <input type="checkbox"/> Pouco <input type="checkbox"/> Razoavelmente <input type="checkbox"/> Muito
1.4	Foi necessária a consulta de especialistas na ferramenta para obter maior entendimento sobre sua utilização?	<input type="checkbox"/> Muito pouco <input type="checkbox"/> Pouco <input type="checkbox"/> Razoavelmente <input type="checkbox"/> Muito
1.5	Você se sente mais motivado com a disciplina após a utilização da ferramenta?	<input type="checkbox"/> Muito pouco <input type="checkbox"/> Pouco <input type="checkbox"/> Razoavelmente <input type="checkbox"/> Muito
2	Quanto à utilização de ferramentas como instrumento didático, você acha importante trazer para sala de aula essas ferramentas para auxiliar no ensino?	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
3	Você recomendaria manter o uso desta ferramenta nas próximas turmas desta disciplina?	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
4	A ferramenta estimula-o a desenvolver um Trabalho de Conclusão de Curso, um Projeto de Pesquisa ou uma dissertação futura de Mestrado com temas relacionados ao experimento?	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
5	Marque abaixo o item que representa sua satisfação geral com a ferramenta.	<input type="checkbox"/> Insatisfeito <input type="checkbox"/> Razoavelmente satisfeito <input type="checkbox"/> Satisfeito <input type="checkbox"/> Bastante Satisfeito

4. FERRAMENTA

Três módulos compõem a ferramenta: Regiões de Voronoi, Projeto de Dicionário e Módulo de Reconstrução. A Figura 1 apresenta a interface principal da ferramenta.



Figura 1 - Interface principal da ferramenta.

Regiões de Voronoi

Este módulo possibilita acompanhar a execução do algoritmo LBG. Iterativamente os alunos podem visualizar o treinamento do dicionário inicial com 16 vetores-código obtidos aleatoriamente a partir do conjunto treino. O conjunto treino é formado por 10.000 amostras dispostos em uma região do \mathbb{R}^2 . As regiões podem ser dispostas em forma de quadrado, círculo ou triângulo.

Em cada iteração do algoritmo, o aluno observe o particionamento do conjunto treino em Regiões de Voronoi a partir do critério do vizinho mais próximo. Apenas como uma forma didática, o critério de parada do algoritmo é fixado em 20 iterações. Ao final das iterações, o aluno pode comparar visualmente o particionamento do conjunto treino em regiões de Voronoi, com uso do dicionário inicial e do dicionário final, ou seja, após ter sido treinado. A Figura 2 apresenta a interface do módulo Regiões de Voronoi.

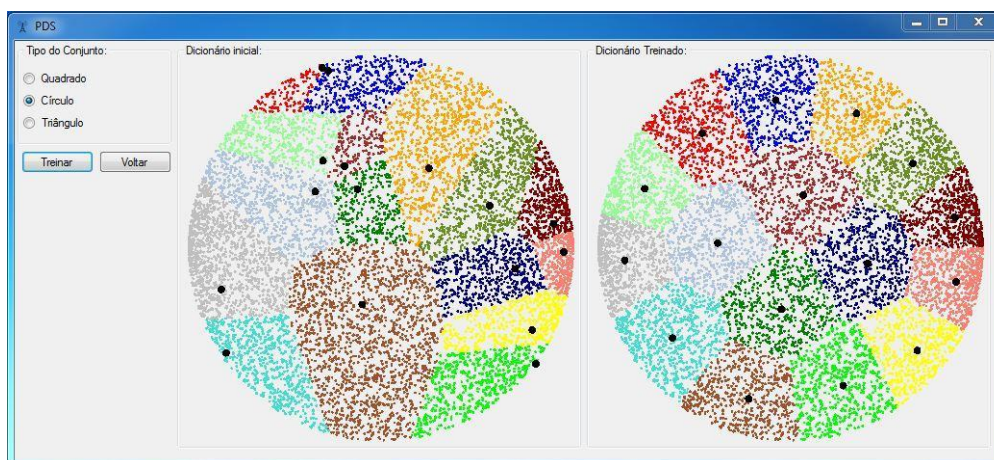


Figura 2 - Interface do módulo Regiões de Voronoi.

Projeto de Dicionários

Este módulo possibilita o aluno projetar e armazenar dicionários para sinais unidimensionais e imagens. Os dicionários são treinados com a utilização do algoritmo LBG. Para o projetar os dicionários, a ferramenta solicita as seguintes informações: tipo de sinal para qual deseja projetar o dicionário, a quantidade de níveis do dicionário (N), o limiar de distorção (ϵ) para o critério de parada do algoritmo LBG e a dimensão dos vetores-código (K).

Como conjunto treino para o sinal unidimensional são utilizadas 10.000 amostras de um sinal com distribuição de Gaus-Markov (Jayant and Noll 1984) e os conjuntos de treino para projeto de dicionários de imagens são Lena, Elaine, Mandrill, Boat e Peppers, em formato PGM da base SIPI (USC 2014) de dimensão 512×512 pixels.

Em cada dicionário projetado o módulo fornece um gráfico de distorção versus iteração, onde o aluno pode acompanhar a evolução da distorção em cada iteração do algoritmo LBG, como também a taxa de codificação para cada dicionário projetado. A Figura 3 apresenta a interface do módulo Projeto de Dicionários.

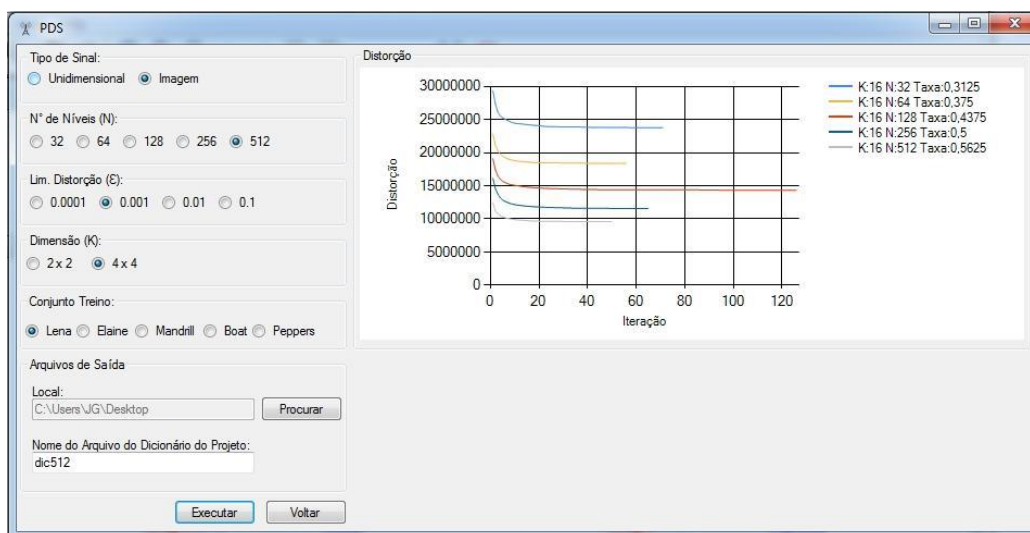


Figura 3 - Interface do módulo de Projeto de Dicionário.

Módulo de Reconstrução

O módulo de Reconstrução fornece ao aluno a visualização dos sinais quantizados a partir dos dicionários projetados no módulo de Projeto de Dicionário. O aluno pode comparar a qualidade visual do sinal original em relação ao sinal quantizado, para diversas taxas de codificação.

A complexidade computacional no processo de reconstrução do sinal quantizado pode ser observada em um arquivo de resultados que armazenará a quantidade de operações lógicas, aritméticas e o tempo gasto. O aluno pode escolher o tipo de busca do vizinho mais próximo e comparar a sua influência na complexidade computacional no processo de reconstrução.

Além da inspeção visual das imagens reconstruídas, os alunos podem observar a qualidade dos sinais reconstruídos avaliada por meio da Relação Sinal-Ruído de Pico (PSNR), também apresentada no arquivo de resultados. A Figura 4 apresenta a interface do módulo de Reconstrução.

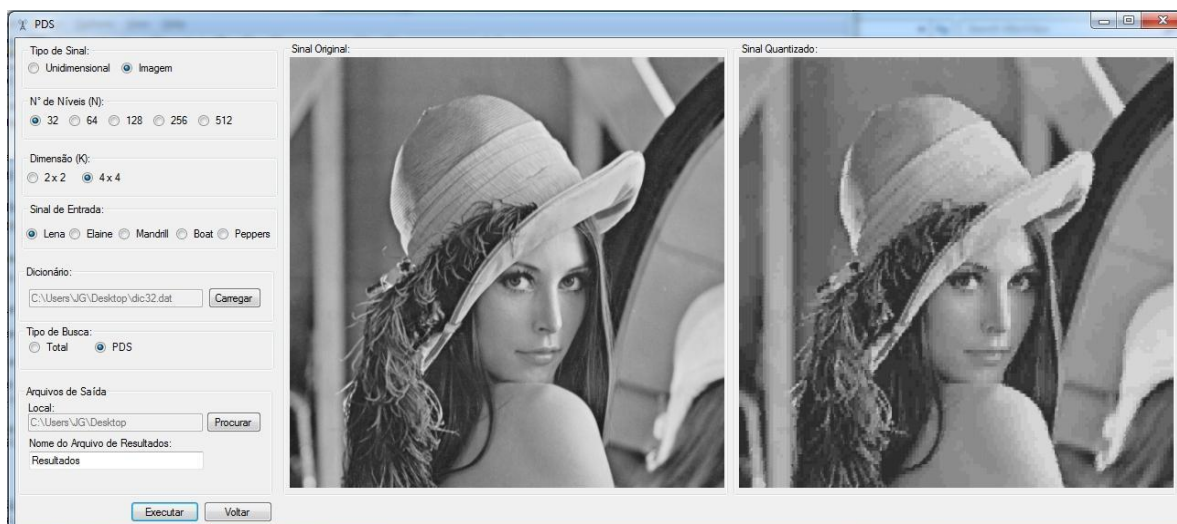


Figura 4 - Interface do módulo de Reconstrução.

5. RESULTADOS

Para medir o nível de aceitação da ferramenta, dezessete alunos responderam o questionário apresentado na Tabela 1. Inicialmente no questionário de avaliação, a ferramenta foi avaliada nos requisitos de usabilidade e motivação. Os alunos foram questionados sobre o auxílio da ferramenta no entendimento dos assuntos abordados em aula e o seu nível de manipulação na realização dos experimentos propostos.

Sobre o auxílio da ferramenta na compreensão dos assuntos abordados, questão 1.1, mais de 70% dos alunos afirmaram que ela foi muito útil na compreensão.

Acerca da visualização dos resultados no processo de quantização vetorial na questão 1.2, mais de 70% dos alunos afirmaram que a ferramenta facilitou muito compreender o processo de quantização.

A respeito da facilidade na utilização da ferramenta, questão 1.3, 47% dos alunos declararam que é muito fácil utilizá-la e 53% dos alunos declararam que é razoavelmente fácil.

A Manipulação da ferramenta foi avaliada na questão 1.4, onde mais de 70% dos alunos afirmam que precisaram consultar “pouco” ou “muito pouco” um especialista para maior entendimento sobre a ferramenta.

A motivação com a disciplina após a utilização prática da ferramenta pode ser vista na questão 1.5, onde 100% dos alunos responderam estar “muito” ou “razoavelmente” motivados com a disciplina. A Figura 5 apresenta as respostas do questionário sobre a usabilidade da ferramenta.

Na questão 2, avaliou-se a importância da utilização de instrumentos didáticos para auxiliar no ensino. Observou-se que 100% dos alunos afirmaram que é importante esse tipo de ferramenta para o auxílio do ensino. Todos os alunos também recomendam a utilização desta ferramenta para as próximas turmas da disciplina de processamento digital de sinais, questão 3.

Referente ao desenvolvimento de trabalhos futuros, na questão 4, aproximadamente 60% dos alunos se sentiram estimulados para produção trabalhos com os temas relacionados que foram abordados nos experimentos.

Por fim, o resultado observado na questão 5 foi que todos os alunos ficaram de maneira geral “satisfeitos” ou “bastante satisfeitos” com a ferramenta. Os resultados das questões 2, 3, 4 e 5 podem ser vistos na Figura 6.

6. CONCLUSÃO

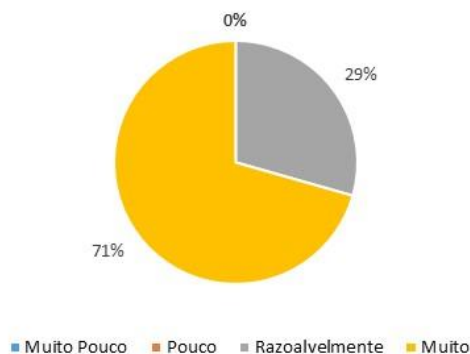
Neste trabalho foi apresentada uma ferramenta para apoio ao ensino de quantização vetorial (QV), um tema que tem sido pouco abordado ou negligenciado em cursos de graduação em Engenharia Elétrica, apesar do amplo aspecto de aplicações associadas à técnica.

A ferramenta contempla aspectos importantes relacionados à QV, tais como: projeto de dicionários, particionamento do espaço de padrões em células de Voronoi, aplicação de técnica de compressão de imagens e complexidade computacional da etapa de codificação por distância mínima.

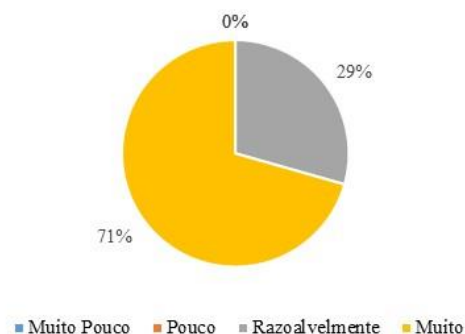
Por meio da aplicação de um questionário a uma turma de alunos da disciplina de processamento digital de sinais, da Escola Politécnica de Pernambuco, os seguintes resultados podem ser destacados: a) a ferramenta foi útil aos alunos na compreensão dos assuntos abordados e do processo de quantização, precisando de pouca consulta de um especialista; b) os alunos mostraram-se mais motivados com a disciplina após o uso da ferramenta; c) os alunos declararam ser importante o uso de ferramentas (como a proposta no trabalho) como apoio ao ensino; d) a ferramenta estimulou os alunos para produção de trabalhos futuros com assuntos relacionados.

Como trabalhos futuros, pretende-se adicionar outros experimentos relacionados à Quantização Vetorial e melhorar a interface gráfica da ferramenta.

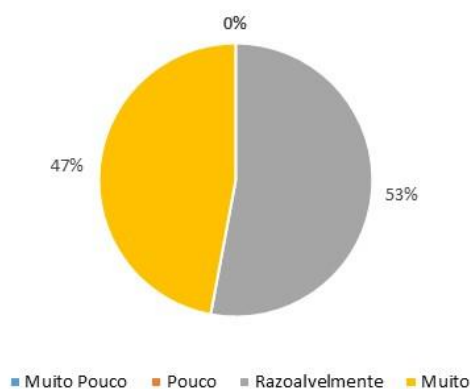
1.1. A ferramenta lhe auxiliou na compreensão de tópicos apresentados na disciplina?



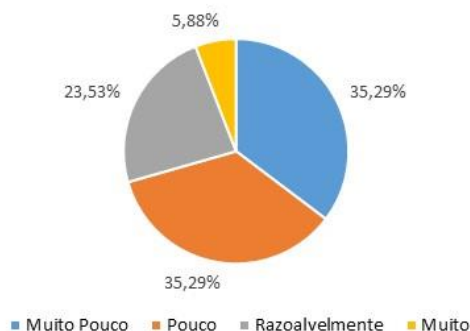
1.2. As saídas gráficas e as animações apresentadas pela ferramenta facilitaram observar o processo de quantização?



1.3. Sentiu facilidade em utilizar a ferramenta?



1.4. Foi necessária a consulta de especialistas na ferramenta para obter maior entendimento sobre sua utilização?



1.5. Você se sente mais motivado com a disciplina após a utilização da ferramenta?

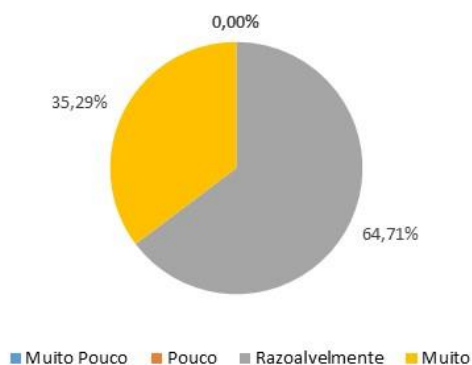
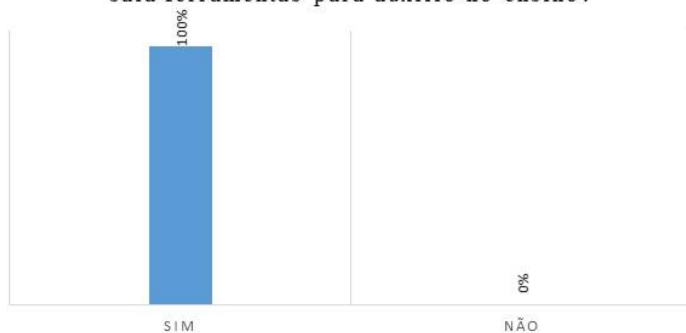
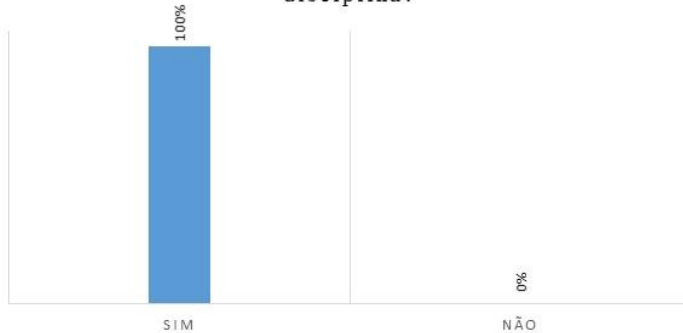


Figura 5 - Respostas sobre a usabilidade da ferramenta.

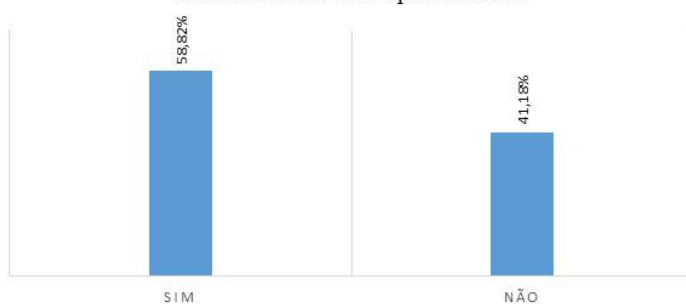
2. Quanto à utilização de instrumentos didáticos, você acha importante trazer para sala ferramentas para auxílio no ensino?



3. Você recomendaria manter o uso desta ferramenta nas próximas turmas desta disciplina?



4. A ferramenta estimula-o a desenvolver um TCC, um projeto de pesquisa ou uma dissertação futura de mestrado com temas relacionados ao experimento?



5. Qual o item que represente sua satisfação geral com a ferramenta?



Figura 6 - Respostas da utilização, satisfação e trabalhos futuros.

7. REFERÊNCIAS

Alves, Helton do Nascimento, and Hugo Alves Velozo. 2013. “Desenvolvimento de Um Software Como Recurso Didático Para O Estudo Da Manutenção Centrada Na Confiabilidade Em Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica.” *XLI Congresso Brasileiro de Educação Em Engenharia*, 12.

Chen, Wen-Jan, and Wen-Tsung Huang. 2009. “VQ Indexes Compression and Information Hiding Using Hybrid Lossless Index Coding.” *Digital Signal Processing* 19(3):433–43.

Fidelis, Ricardo Tirone, and Marcelo Escobar de Oliveira. 2013. “Desenvolvimento E Uso de Ferramentas de Simulações No Processo Ensino-Aprendizagem Na Engenharia Elétrica.” *XLI Congresso Brasileiro de Educação Em Engenharia*, 11.

Galvão, Jair. 2014. “Melhoramento de Inserção de Marca D’água E de Transmissão de Imagens Baseadas Em Quantização Vetorial.” Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas). Escola Politécnica de Pernambuco - POLI/UPE.



Gray, Robert M. 1984. "Vector Quantization." *IEEE ASSP Magazine* 1(2):4–29.

Hui, Bing, and Kyung Hi Chang. 2012. "Low Complexity Vector Quantization Algorithm for Codebook Optimization." Pp. 868–72 in *2012 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*. IEEE.

Jayant, N. S., and Peter Noll. 1984. *Digital Coding of Waveforms, Principles and Applications to Speech and Video*. Englewood Cliffs NJ, USA: Prentice-Hall.

Kumar, C. Vinoth, V. Natarajan, and Deepika Bhogadi. 2013. "High Capacity Reversible Data Hiding Based on Histogram Shifting for Medical Images." Pp. 730–33 in *2013 International Conference on Communication and Signal Processing*. IEEE.

Lee, Jiann-Der, Yaw-Hwang Chiou, and Jing-Ming Guo. 2013. "Lossless Data Hiding for VQ Indices Based on Neighboring Correlation." *Information Sciences* 221:419–38.

Linde, Y., A. Buzo, and R. Gray. 1980. "An Algorithm for Vector Quantizer Design." *IEEE Transactions on Communications* 28(1):84–95.

Madeiro, F., J. M. Fechine, W. T. A. Lopes, B. G. Aguiar Neto, and Marcelo Sampaio Alencar. 2007. "Identificação Vocal Por Frequência Fundamental, QV E HMMs." Pp. 91–120 in *Em-TOM-Ação: A Prosódia em Perspectiva*. Recife, PE: Editora Universitária da UFPE.

Madeiro, Francisco, and Waslon Terllizzie Araújo Lopes. 2011. "Introdução À Compressão de Sinais." *Revista de Tecnologia da Informação e Comunicação* 1(1):33–40.

Madeiro, Fransico. 2001. "Projeto E Avaliação de Dicionários Para Quantização Vetorial de Voz E Imagem." Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica). Universidade Federal da Paraíba - PB.

Mahapatra, Dheeren Ku, and Uma Ranjan Jena. 2013. "Partitional K-Means Clustering Based Hybrid DCT-Vector Quantization for Image Compression." Pp. 1175–79 in *2013 IEEE Conference on Information and Communication Technologies*.

Qin, Chuan, Chin-Chen Chang, and Yen-Chang Chen. 2013. "A Novel Reversible Data Hiding Scheme for VQ-Compressed Images Using Index Set Construction Strategy." *KSII Transactions on Internet and Information Systems* 7(8):2027–41.

USC. 2014. "SIPI Image Database - Misc." Retrieved January 27, 2014 (<http://sipi.usc.edu/database/database.php>).

Wang, Feng-Hsing, Lakhmi C. Jain, and Jeng-Shyang Pan. 2007. "VQ-Based Watermarking Scheme with Genetic Codebook Partition." *Journal of Network and Computer Applications* 30(1):4–23.



Zhou, Yun, Rangding Wang, and Diquan Yan. 2010. "An Audio Watermarking Scheme Based on VQ Codebook Pairing." Pp. 4011–15 in *2010 3rd International Congress on Image and Signal Processing*. IEEE.

A PROPOSAL OF DIDACT TOOL TO TEACHING VECTOR QUANTIZATION IN ELECTRICAL ENGINEERING

Abstract: *This work presents a tool to support teaching vector quantization (VQ) in undergraduate electrical engineering courses. Little or no attention has been devoted to VQ in those courses, in spite of the wide use of the technique in a variety of signal processing systems, such as: speech compression, image compression, steganography, digital watermark, speaker recognition and handwritten recognition. The aim of this tool is to contribute to consolidate the fundamentals of VQ and allow the student to become familiar with the application of the technique in signal compression. The results of the application of this tool to students in the discipline digital signal processing at Polytechnic School of Pernambuco show that 100% of the students declared themselves satisfied with its utilization and emphasized the importance of this tool in the support of teaching of engineering. The students recommended the utilization of this tool in the next classes and about 60% of students felt motivated to develop future works with themes explored in the experiments.*

Keywords: *Digital Signal Process, Vector Quantization, Teaching in Electrical Engineering.*