

UTILIZAÇÃO DO RÁDIO DEFINIDO POR SOFTWARE COMO FERRAMENTA PARA O ENSINO DE SISTEMAS DE TELECOMUNICAÇÕES

¹Rychelly Glenneson da Silva Ramos; ²Anderson Allan Lourenço Sobral ³Marcelo Ruan Moura Araújo; ⁴Gustavo Ramos da Silva

^{1 2 3 4}Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – *Campus Campina Grande*
¹rychelly.g.ramos@ieee.org, ²anderson.allan.lourenco.sobral@gmail.com ³marceloruan.m.araujo@ieee.org,
⁴gustavoramos234@gmail.com

RESUMO: Este trabalho apresenta uma proposta de utilização da ideia de RDS (Rádios Definidos por *Software*) para o auxílio no ensino de sistemas de telecomunicações nos cursos de ensino superior que englobam o tema, propondo uma solução para aplicar-se em sala de aula. Como interface entre os sinais de rádio frequência e o ambiente digital, é exposto o conjunto de *hardware* USRP (*Universal Software Radio Peripheral*), desenvolvida pela Ettus Inc., que permite o desenvolvimento de rádios digitais, fornecendo toda a infraestrutura de processamento digital de sinais e de RF (Radiofrequência). Como plataforma de desenvolvimento, utiliza-se o GNU Radio, *software* gratuito e de código aberto, altamente utilizado pela comunidade acadêmica em pesquisas na área de RDS. Espera-se, com isso, colaborar no processo educacional neste campo tão importante no desenvolvimento tecnológico atual.

Palavras-Chaves: Rádio Definido por *Software*, GNU Radio, Sistemas de Telecomunicações, Processamento Digital de Sinais.

1. INTRODUÇÃO

Segundo dados da Anatel (Agência Nacional de Telecomunicações), disponível em (TELECO, 2016), indica que em março de 2016, havia mais de 257 milhões de linhas de telefonia móvel no Brasil. Mesmo sem levar em consideração outros tipos de sistemas de telecomunicações, como TV Digital e Analógica, Rádios, Internet e outras, tal fato demonstra a importância que disciplinas nesta área têm na estrutura curricular dos cursos de Telemática, Engenharia Elétrica e Engenharia de Telecomunicações. Sabendo disto, torna-se de imprescindível importância a assimilação por parte dos acadêmicos que frequentam estes tópicos (PITZ *et al.*, 2014).

A matemática é de notória importância para a entendimento, projeção e desenvolvimento de sistemas de telecomunicações, entretanto, a matemática torna a teoria envolvida em conceitos completamente abstratos (KATZ & FLYNN, 2009). Esta característica dificulta a compreensão dos mesmos, criando uma lacuna entre o formalismo matemático e aquilo que faz sentido no contexto prático (ALBU & MALAKUTI, 2009).

Nos dias atuais, para facilitar o entendimento, é frequentemente citada a necessidade de aliar os conteúdos práticos e teóricos, com a finalidade de desenvolver habilidades singulares nos alunos. Por outro lado, a realidade encontrada na maioria das instituições que se propõem a dar este tipo de conteúdo é limitada a simulações computacionais e demasiadas visitas e demonstrações em laboratórios que não oferecem equipamentos relativamente ultrapassados. Estas ações são necessárias e constituem uma importante etapa no processo de aprendizado dos alunos, permitindo a estes uma visualização mais amigável das equações matemáticas.

Uma das formas de atrair o interesse dos estudantes, é utilizar em tempo real, sinais de serviços que fazem parte do cotidiano dos alunos, como sinais de rádios comunitárias AM/FM, sinais de TV aberta e até sinais de satélites meteorológicos, por exemplo.

Atualmente o mercado disponibiliza equipamentos que tem a função de prover sinais do mundo real para o uso durante aulas práticas em laboratório. Tais equipamentos vão desde instrumentos clássicos em telecomunicações até os mais avançados sistemas de aquisição e transmissão de dados. Porém, os elevados preços e o fato de que a grande maioria não é fabricado no Brasil, torna difícil o acesso para universidades com orçamento reduzido e a manutenção dos mesmos (PITZ *et al.*, 2014).

Muito usado no campo científico e nos últimos anos comercialmente, a ideia por trás do conceito de RDS (Rádio Definido por *Software*) é vista como uma alternativa viável para ser utilizada em laboratórios de telecomunicações (REIS *et al.*, 2012). Resumidamente, como definido em (KATZ & FLYNN, 2009), o RDS é a “implementação direta da matemática de processamento de sinais no mundo real”. Diversos estudos apontam a aplicação desta concepção na estrutura curricular dos cursos de engenharia norte-americanos, dentre eles em (BONIOR *et al.*, 2012), relatando um aumento no interesse dos alunos a medida que é introduzido o RDS.

Um RDS baseia-se em uma estrutura programável, onde o *hardware* terá a menor abrangência possível, limitando-se a preparar o sinal de RF (Rádio Frequência) para o domínio digital. Os processamentos úteis como modulações e demodulações, filtragens e qualquer outra operação que seja necessária, que antes eram feitos por circuitos analógicos, terão sua implementação feita através de softwares. Assim sendo, um sistema baseado em RDS é altamente flexível, trazendo a versatilidade do mundo da programação para as comunicações, podendo operar com múltiplos serviços, bandas e padrões. Esta característica faz com que os professores possam ir

da teoria para a prática de forma muito rápida, fazendo o aluno implementar diversas técnicas em um sistema real.

Há algum tempo, já é ofertado no mercado ferramentas para colocar-se em funcionamento um sistema educacional com base no conceito de definição por *software*. Estas ofertas vão desde instrumentos básicos que fazem a ligação dos sinais de rádio com o computador até *hardwares* de alto desempenho, podendo serem utilizados tanto para transmissão quanto para recepção de sinais.

Utilizado por muitas universidades, o USRP (*Universal Software Radio Peripheral*) é um periférico que tornou-se popular para o ensino baseado em sinais reais (WELCH & SHEARMAN, 2012). Mesmo sendo considerado um equipamento relativamente barato pelas funções que oferece e pela boa qualidade, seu preço, na versão de entrada, pode chegar a algumas centenas de dólares.

O objetivo deste trabalho é a apresentação de ferramentas de RDS para a utilização em disciplinas de sistemas de telecomunicações, com o intuito de agregar maior praticidade e entendimento dos alunos neste tipo de conteúdo, uma vez que, de forma tradicional, essas disciplinas são dadas de forma abstrata e não oferecem uma aprendizagem prática ao aluno.

2. METODOLOGIA

2.1. GNU Radio

GNU Radio é um *framework* de *software* livre para o desenvolvimento de RDSs (GNU Radio, 2016). Cada rádio implementado no GNU Radio é composto de um conjunto de blocos de processamento de sinais independentes e interligados, que podem ser obtidos da biblioteca ou desenvolvidos pelo usuário.

O conceito geral é o programador, neste caso o aluno, implementar um rádio através da criação de um grafo, ideia vinda da teoria dos grafos, onde os vértices são os blocos de processamento de sinais e as arestas o fluxo de dados entre eles (OLIVEIRA *et al.*, 2012).

Os rádios implementados no GNU Radio podem ser conectados ao mundo exterior ao *software* (transmitir e receber sinais reais), utilizando um *front-end* de rádio frequência. Alguns blocos funcionais que acessam esses dispositivos estão disponíveis na biblioteca de bloco, como o bloco UHD que permite a utilização do *front-end* denominado USRP (Ettus Inc., 2016).

O GNU Radio é desenvolvido e mantido por uma comunidade aberta, colaborativa e bastante ativa. Qualquer pessoa interessada pode participar dessa comunidade.

O site *gnuradio.org* disponibiliza arquivos e informações úteis para o entendimento e utilização desse pacote de software. No entanto, como se trata de um código aberto, as listas de discussão são a melhor opção para correção de erros e obtenção de respostas para dúvidas.

Ao iniciar a utilização das ferramentas oferecidas pelo GNU Radio é preciso ter em mente que sua estrutura é baseada em duas camadas de programação: a implementação dos blocos de processamento de sinais em si, e a interconexão de blocos para formar um sistema de processamento. A primeira parte é realizada em C++ e a segunda em Python.

Essa organização busca facilitar a construção dos sistemas a partir dos blocos, que podem ser vistos como “caixas pretas” a partir do momento que o usuário deve apenas se concentrar na utilização dos blocos e não no seu funcionamento interno. Nesse nível o usuário deve se concentrar na configuração dos parâmetros dos blocos e conexão correta entre blocos fontes (*sources*) e sinais, intermediários que realizam o processamento do sinal e saídas (*sinks*), sempre nessa ordem.

Por exemplo, o receptor tem no mínimo um bloco fonte de sinais, que pode ser um arquivo com o sinal pré-gravado ou um *front-end* de RF conectado a uma antena, e um bloco que absorve o recebido, que pode ser a saída de som do computador ou um arquivo de dados. O transmissor também deve ter no mínimo dois blocos, um bloco fonte que gera os sinais e outro sorvedouro que realizará a transmissão dos sinais, podendo ser um arquivo ou um *front-end* de RF.

Apenas quando se deseja implementar novos blocos de processamento, ou melhorar a funcionalidade de algum bloco existente, o usuário deverá utilizar a programação em C++. Porém é possível utilizar o GNU Radio somente com C++. A implementação dos blocos de processamento em C++ advém da necessidade de obter processamento rápido.

2.3. O Ambiente Gráfico do GNU Radio (GRC)

Para tornar o GNU Radio mais acessível aos usuários sem grandes conhecimentos em programação foi criado, por John Blum, o *GNU Radio Companion* (GRC), que consiste em um ambiente gráfico para a criação de grafos sem a necessidade de maiores detalhes sobre C++ e Python, as quais são as linguagens oficiais da plataforma. Com o seu uso fica possível configurar os blocos e efetuar suas ligações de forma simples e intuitiva (SELVA *et al.*, 2012). Tendo o seu foco

totalmente voltado para a praticidade, seu funcionamento é semelhante a ferramenta *Simulink* contida no *software* MATLAB ou ao LabVIEW.

A utilização do GRC no ensino de comunicações sem fio traz grandes vantagens, tanto para o aluno quanto para o professor. Com sua interface amigável e a semelhança com outros *softwares* já utilizados durante um curso de tecnologia/engenharia, os envolvidos não necessitam dedicar muito tempo para entender o seu funcionamento. Ao poder projetar graficamente um RDS, torna-se possível obter uma visualização geral do conjunto das funções matemáticas que estão envolvidas no processo, facilitando a transição entre a teoria e a prática.

2.3. USRP (*Universal Software Radio Peripheral*)

Quando se desenvolve um rádio definido por software é natural desejar-se transmitir ou receber sinais reais. Para tanto, basta incluir um bloco fonte (recepção) ou sorvedouro (recepção) que acesse algum *front-end* de rádio frequência. Existem diversos *front-end* disponíveis no mercado e alguns deles com blocos já disponíveis no GNU Radio. Um exemplo desses blocos permite a conexão com a USRP, que como o nome sugere, é uma placa integrada que possibilita a implementação (via comando de *software*) dos elementos utilizados nos transmissores e receptores. Essa placa incorpora basicamente conversores AD/DA, uma FPGA que é responsável pelo pré-processamento dos sinais de entrada e *slots* para inclusão de placas filhas (*front-end*) de acordo com faixa de frequência de interesse. No caso de um sistema receptor, basicamente o sinal recebido em uma frequência especificada é convertido para banda básica, digitalizado e enviado ao computador via cabo USB 2.0/3.0 ou *Ethernet* (GURJÃO, 2013).

Existem outros diversos dispositivos capaz de operar similarmente a USRP, com suas limitações, porém, com um custo menor e que têm suas bibliotecas já implementadas no GNU Radio como, por exemplo, o *Funcube Dongle* (WILLIAMS, 2014), um equipamento pequeno e barato que originalmente foi projetado para captar sinais de TV Digital, mas devido a sua grande largura de banda permite receber sinais em outras frequência, entre 64MHz e 1700MHz. Muitos outros *hardwares* tem sido propostos, como o *BeRadio Software Defined Radio Kit*, *HackRF*, *OsmoSDR* dentre outros (GURJÃO, 2013).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O ensino de sistemas de telecomunicações e afins não é uma tarefa fácil, dado o grande volume de conhecimento teórico que o aluno tradicionalmente tem de absorver somado às novas ideias associadas com amostragem e sinais digitais que revolucionaram os sistemas de comunicações e que agora revolucionam os projetos em sistemas de rádios. Atualmente, o aluno tem que lidar com as complexas equações matemáticas e os modernos algoritmos de programação, conhecimento de *hardwares* de alta velocidade entre outras questões complexas que norteiam o campo das comunicações. Uma das principais dificuldades é transformar esses conhecimentos em uma aplicação concreta, haja vista o custo dos equipamentos necessários para a implementação de um sistema de rádio digital e a consequente dificuldade de acesso a plataformas de desenvolvimento ou mesmo a kits educacionais por parte dos estudantes.

Com o intuito de minimizar essa dificuldade, este trabalho apresentou soluções *open source* que podem ser utilizadas para implementar sistemas de comunicação de modo a diminuir a distância entre o conteúdo teórico e as aplicações práticas encontradas nas escolas de engenharias. Quando se dá a junção de uso da ferramenta de desenvolvimento *open source* GNU Radio e o *hardware* genérico USRP para fazer a interface entre o meio físico e o ambiente de processamento do sinal digital, é possível simplificar e garantir o entendimento dos alunos como tais sistemas funcionam. Dessa forma, utilizando tais ferramentas, espera-se colaborar no processo educacional neste campo tão importante no processo de desenvolvimento tecnológico atual.

4. CONCLUSÕES

Desde a idealização do rádio definido por *software* muito tem sido desenvolvido, tanto na teoria quanto nas forma de implementação. Conceitos como rádio cognitivo (HAYKIN, 2005) e redes cognitivas (THOMAS *et al.*, 2005) são derivados do RDS.

Sendo uma plataforma de código aberto, simples de usar e com uma ampla comunidade de suporte, o GNU Radio é um *framework* de software muito bem aceito pelos desenvolvedores de RDS.

Utilizando uma combinação de linguagens Python e C++, tanto o usuário iniciante quanto o mais avançado encontram um ambiente de programação propício de desenvolvimento. Ainda há a possibilidade de utilizar a ferramenta gráfica *GNU Radio Companion*, e com arrastar e soltar de blocos implementar o rádio.

Há ainda a possibilidade de conectar os rádios implementados usando GNU Radio com *front-end* de RF, e com isso realizar a transmissão ou recepção de sinais reais.

Assim, o GNU Radio fornece a flexibilidade necessária para implementar sistemas completos. E por ser uma comunidade aberta, todos podem ajudar no seu desenvolvimento e divulgação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBU, A. B.; MALAKUTI, K. Work in progress – problem-based learning in digital signal processing. In: IEEE Frontiers in Education Conference, 2009, San Antonio TX.

BONIOR, J. D.; CORUM, S.; MCNEW, B.; PIRAS, A.; WITHERSPOON, B.; QIU, R. C.; NAN GUO; ZHEN HU. Using software-defined radio network testbed to enhance undergraduate education and encourage graduate level studies. In: Proceedings of IEEE Southeastcon, 2012, Orlando FL.

ETTUS INC., Universal Software Radio Peripheral. Disponível em: <<http://www.ettus.com>>
Acesso em: 17 de maio de 2016.

GNU RADIO, Wiki. Disponível em: <www.gnuradio.org> Acesso em: 16 de maio de 2016.

GURJÃO, E. C. Introdução ao GNU Radio. Revista de Tecnologia da Informação e Comunicação, Vol 3, NO. 1, Outubro de 2013.

HAYKIN, S. Cognitive radio: brain-empowered wireless communications, Fevereiro de 2005, pp. 201 a 220. IEEE Journal on Selected Areas in Communications.

KATZ, S.; FLYNN, J. Using Software Defined Radio (SDR) To Demonstrate Concepts. In Communications and Signal Processing Courses. In: IEEE Frontiers in Education Conference, 2009, San Antonio TX.

LEECH, M. Shirleys Bay Radio Astronomy Consortium. Disponível em: <<http://www.sbrac.org/>>
Acesso em: 17 jun. 2013.

MAGNA, A. J.; VIEIRA, C.; POLO, F. G.; JUNCHAO, Y.; XIN, S. An exploratory survey on the use of computation in undergraduate engineering education. In: IEEE Frontiers in Education Conference, 2013, Oklahoma City OK.

OLIVEIRA, J. P.; LEITE, J. B. N.; MULLER, F. C. B. F.; KLAUTAU JR, A. B. R. Uso de Software Livre no Ensino de Telecomunicações: Estudo de Caso com o GNURADIO e USRP. In: Cobenge, 2012, Belém, PA.

PEREZ, E.; SHEARMAN, S. LabVIEW DSP: Hands-on DSP educational platform. In: Digital Signal Processing Workshop and 5th IEEE Signal Processing Education Workshop, 2009, Marco Island FL.

PITZ, C. A.; HAUSMANN, R.; OLINGER, H. A Utilização do Software GNU Radio em Conjunto com RTL-SDR no Ensino de Sistemas de Comunicações Sem Fio. In: Cobenge, 2014, Juiz de Fora, MG.

REIS, A. L. G.; SELVA, A. F. B.; LENZI, K. G.; BARBIN, S. E.; MELONI, L. G. P. Software defined radio on digital communications: A new teaching tool. In: IEEE 13th Annual Wireless and Microwave Technology Conference, 2012, Cocoa Beach FL.

SELVA, A. F. B.; REIS, A. L. G.; LENZI, K. G.; MELONI, L. G. P.; BARBIN, S. E. Introduction to the Software-defined Radio Approach. IEEE Latin America Transactions, Vol. 10, No. 1, Jan. 2012.

TELECO. Estatísticas de celulares no Brasil. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/ncel.asp>>
Acesso em: 16 de maio de 2016.

THOMAS, R.W., DASILVA, L.A. e MACKENZIE, A.B. First IEEE International Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks, 2005. DySPAN 2005. pp. 352-360. Baltimore, USA.



WELCH, T. B.; SHEARMAN, S. Teaching software defined radio using the USRP and LabVIEW. In: IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, 2012, Kyoto.

WELCH, T. B.; WRIGHT, C. H. G.; MORROW, M. G. Software defined radio: Inexpensive hardware and software tools. In: IEEE International Conference on Acoustics Speech and Signal Processing, 2010, Dallas TX.

WILLIAMS, G. S. NOAA-19 APT Reception using GNU Radio and a FUNcube dongle. Disponível em: <<http://websterling.com/tsro/apt/>> Acesso em: 18 abr. 2014.