



A UTILIZAÇÃO DE RÁDIO DEFINIDO POR SOFTWARE NOS LABORATÓRIOS DIDÁTICOS COM RECURSOS PARA ENSINO A DISTÂNCIA

*Thiago Almeida – thiago_lp_almeida@hotmail.com
Universidade de Brasília – Faculdade de Tecnologia - PPGEE
Campus Darcy Ribeiro - Asa Norte
70910-900 – Brasília – DF*

*Edson Mintsu Hung – mintsu@unb.br
Universidade de Brasília – Faculdade de Tecnologia - PPGEE
Campus Darcy Ribeiro - Asa Norte
70910-900 – Brasília – DF*

*Leonardo Aguayo – aguayo@unb.br
Universidade de Brasília – Faculdade de Tecnologia - PPGEE
Campus Darcy Ribeiro - Asa Norte
70910-900 – Brasília – DF*

Resumo: *A montagem típica de uma bancada experimental para um laboratório de ensino de telecomunicações requer um gasto elevado com equipamentos para a elaboração dos experimentos. A tecnologia de Software Defined Radio (SDR) permite a elaboração de diversos experimentos utilizando o mesmo equipamento e o contexto do experimento pode ser alterado modificando-se a função do hardware por meio de alteração via software, localmente ou remotamente. Tal característica pode ser explorada para o Ensino a Distância (EAD) utilizando SDR. Neste artigo, demonstra-se a viabilidade de utilizar o GNU Radio e o Universal Software Radio Peripheral (USRP) como plataforma para diversos experimentos de comunicação que podem ser realizados a distância, constituindo-se de uma importante ferramenta para equipar laboratórios de universidades com flexibilidade para o Ensino a distância.*

Palavras-chave: *Ensino. GNU Radio. Laboratórios. USRP. EAD.*

1 INTRODUÇÃO

Tanto nos cursos de graduação em Engenharia de Telecomunicações como em cursos correlatos, o primeiro contato do aluno com o formalismo dos conceitos de modulação, demodulação e desempenho de sistemas se dá tipicamente em uma disciplina expositiva complementada por uma atividade laboratorial. O núcleo do escopo dos experimentos de laboratório geralmente consiste na reprodução, em bancada, da geração de formas de onda moduladas, no projeto de demoduladores e na medição de características essenciais dos sinais relevantes.

Em cursos introdutórios, uma maneira de se retirar do contexto o problema da implementação dos circuitos é trabalhar com o nível de abstração de subsistemas representados por diagramas de blocos. Para esta finalidade, é comum o uso de ferramentas como Simulink, Xcos, LabView ou *GNU Radio Companion* - GRC, na qual a atividade



principal é a de simulação comportamental do sistema, sem entrar em detalhes de implementação do hardware. Entretanto, a simulação pura não permite a interação com o sinal eletricamente gerado via instrumentos de bancada, limitando o contato do aluno com problemas gerados pelo hardware e pelo ambiente real.

No contexto das bancadas, os equipamentos de rádio tradicionais normalmente apresentam hardware e software desenvolvidos para executarem um conjunto de funções específicas. Nesse contexto, surgiu o *Software Defined Radio* (SDR) (MITOLA, 1995), conceito usado para definir um rádio em que todas ou quase todas as funções da camada física podem ser escritas em software. Esta flexibilidade permite atender novos e diversos contextos de emprego, incluindo modificações na frequência da portadora, banda de transmissão, forma de acesso ao canal, codificação de canal e tipo de modulação, substituindo os equipamentos de bancada. O potencial de uso do SDR em laboratórios de graduação no Brasil já foi apontado no início da década (REIS et al., 2012).

A flexibilidade de configuração de sistemas baseados em SDR permite ao aluno e ao instrutor realizar um passo além da simulação e da configuração de equipamentos de laboratório tradicionais. Adicionalmente, um *front-end* de um SDR pode ser adquirido por valores inferiores a R\$ 10.000,00, tipicamente mais baratos do que o conjunto de bancada básico composto de fonte de tensão, osciloscópio, multímetro e componentes do transmissor e receptor. Com base nas vantagens apresentadas pelos SDR, este artigo propõe o uso de uma ferramenta completa de SDR, composta pelo hardware USRP N210 e pelo software *GNU Radio Companion* (GRC) para a utilização nos laboratórios universitários (DINIZ et al., 2013), principalmente aquelas que atuam na modalidade de Ensino a Distância (EAD), apresentando ao aluno um contato maior com o comportamento de sistemas reais, em variados experimentos de modulação analógica e digital (XU et al., 2017), embora realizados a distância. Estudos similares têm ocorrido em outros locais do Brasil e do exterior (LINN, 2011). Analisam-se aqui os aspectos favoráveis e desfavoráveis da aplicação do SDR em substituição aos equipamentos tradicionais de laboratório didático associado a uma disciplina introdutória de telecomunicações (WELCH; WRIGHT; MORROW, 2010) utilizando como mecanismo de validação a execução remota de todos os experimentos apresentados neste artigo. Destaca-se também que alguns destes experimentos foram realizados em sala pelos alunos de graduação em telecomunicações e mostraram-se uma ferramenta importante para complemento da teoria. Existem ensaios sobre o emprego de uma estratégia geral de uso de SDR no ensino de graduação (PETROVA; ACHTZEHN; MAHONEN, 2014) bem como em aplicações específicas do uso de SDR em outros laboratórios correlatos ao considerado neste trabalho (MAROJEVIC et al., 2018), (BAZ-DRESCH; VELAYUDHAN; JOHNSON, 2016).

2 SOFTWARE E HARDWARE EXPERIMENTAIS

2.1 GNU Radio Companion (GRC)

O GRC é um software livre que implementa funções de processamento de sinais por meio de blocos, os quais podem ser encadeados graficamente, em ambiente Python, para formar um sistema de telecomunicações. O software permite simular aplicações de rádio bem como executá-las com sinais reais quando associado a um *front-end*. Dessa forma, o GRC atua como núcleo de processamento de sinais de um SDR que pode ser associado a um *front-end* para emissão real por meio cabeado ou no espaço livre.

Embora o GRC utilize interface em ambiente Python, a execução das funções dos blocos ocorre em C++ a fim de prover mais velocidade de processamento. As linguagens são integradas por meio do *Simplified Wrapper and Interface Generator* (SWIG) que visualiza os blocos em Python como grafos e os relaciona aos blocos em C++. Os sinais processados são



inseridos no *front-end* por meio de um bloco específico que atua como *driver*, denominado *USRP Hardware Driver*.

2.2 Universal Software Radio Peripheral (USRP)

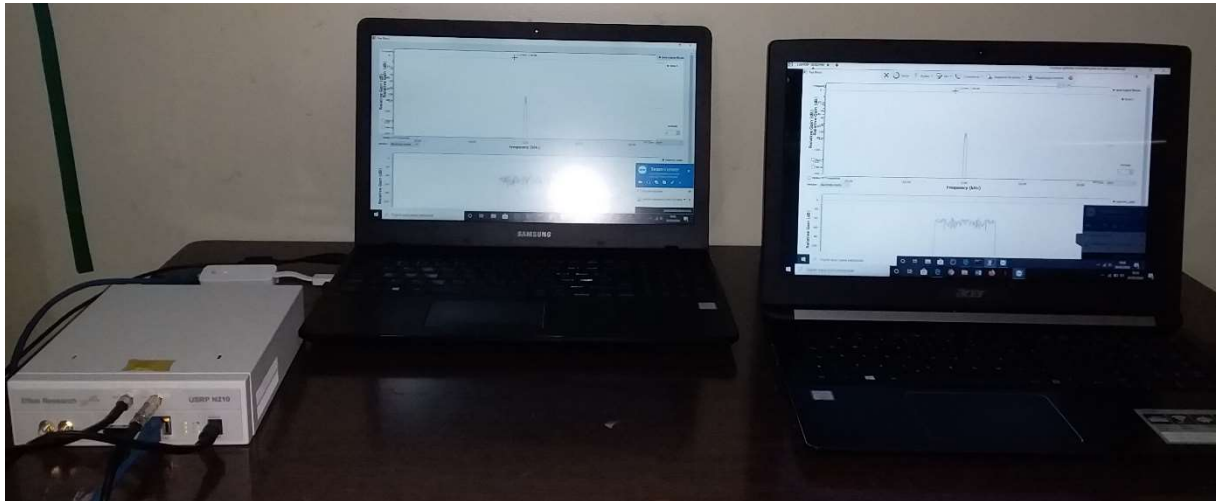
Existem diversos modelos e marcas de *front-end* disponíveis no mercado. Neste trabalho foi utilizado o USRP N210, que consegue realizar variados tipos de funções desenvolvidas no GRC e possui uma arquitetura composta por placa mãe, placas filhas e conversores analógico/digital (ADC) e digital-analógico (DAC). A placa mãe é responsável pela conversão de taxas de amostragem obtida nas placas filhas, pela alimentação elétrica dos componentes e por fazer a interface com o computador hospedeiro que utiliza o GNU Radio.

O espectro de operação das placas filhas é de DC até 30 MHz e, no experimento em questão, foram utilizadas as placas LFTX para transmissão e LFRX para recepção, resultando em configuração simplex, uma vez que estavam conectadas por um cabo coaxial passando por um atenuador de 30 dB.

2.3 TeamViewer

Utilizou-se o aplicativo TeamViewer para acessar o computador com o GRC e USRP (computador hospedeiro) a partir de um computador remoto. Tal aplicativo permitiu o controle quase que total de um computador hospedeiro, funcionalidade ideal para interagir com o GRC e USRP, conforme a estrutura experimental apresentada na Figura 1.

Figura 1 - USRP e GRC (hospedeiro) acessados remotamente por meio de conexão 4G.



3 EXPERIMENTOS REALIZADOS

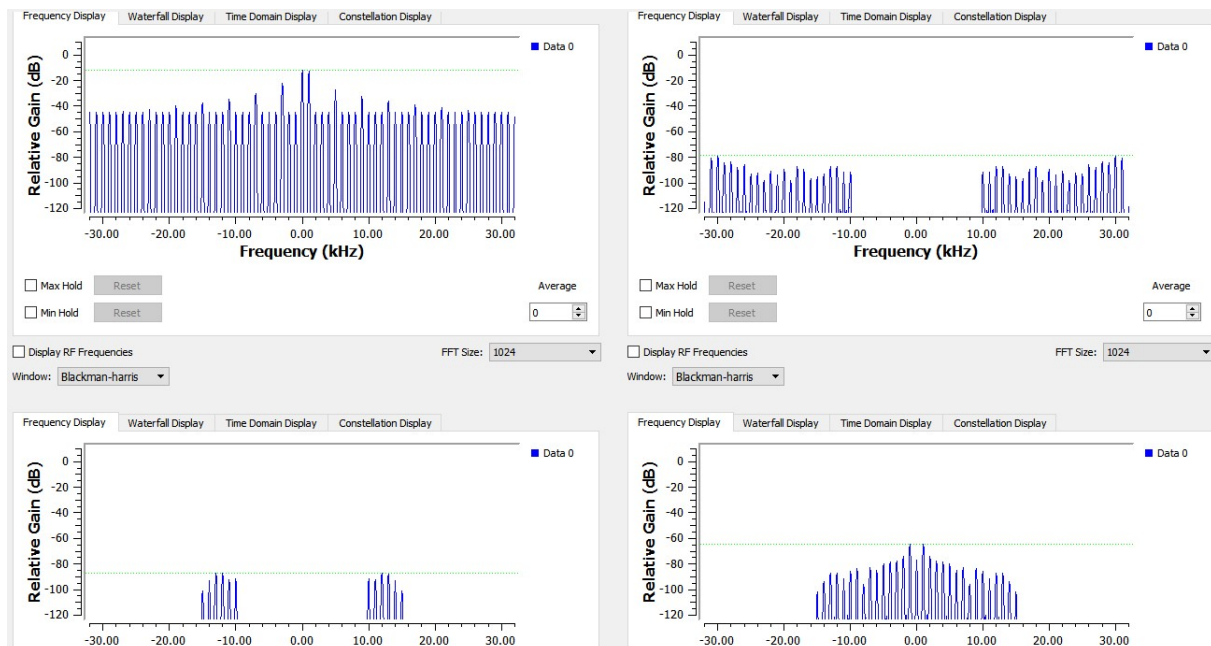
Foram desenvolvidos experimentos a fim de demonstrar, em nível básico, a aplicabilidade de SDR como ferramenta capaz de substituir os equipamentos tradicionais de laboratório no que tange aos princípios básicos de comunicações analógicas e digitais, em escala crescente de dificuldade, bem como comprovar a aplicabilidade destes experimentos em formato EAD.

3.1 Filtragem de sinais

Este experimento teve por objetivo demonstrar os conceitos básicos de filtragem, faixa de transição, frequência de corte e seus efeitos práticos. Consistiu em filtrar uma onda quadrada

de amplitude 1V e frequência de 1kHz, modulada na frequência portadora de 20 MHz; e verificar o comportamento do sinal após a passagem por filtros passa-alta, passa-faixa e passa-baixa conforme a Figura 2.

Figura 2 - Exemplo de filtragem de sinais com filtros passa-baixa, passa-faixa e passa-alta realizado remotamente com o TeamViewer.



3.2 Modulação em Amplitude - AM

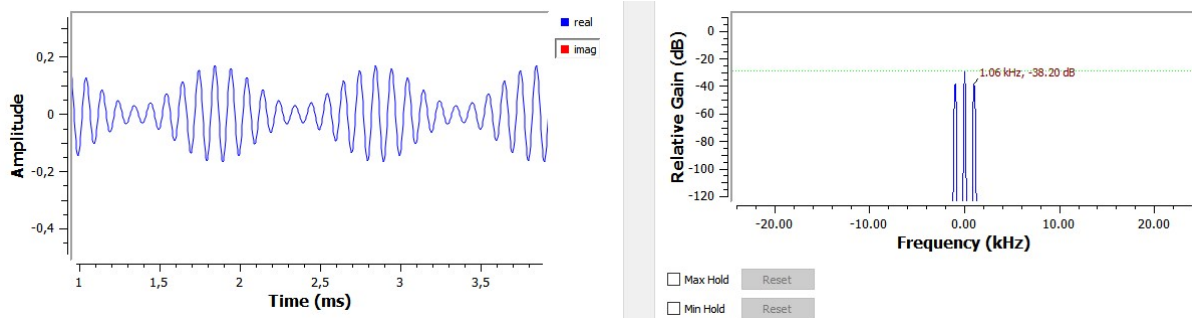
Este experimento teve por objetivo demonstrar os conceitos de modulação por amplitude, translação em frequência e reforçar os conceitos de transformada de Fourier. Consistiu em gerar sinais AM em suas variantes AM-DSB+C (com portadora destacada), AM-DSB-SC (portadora suprimida), SSB (banda lateral única) e *Quadrature Amplitude Modulation* (QAM) analógico. O sinal transmitido $s(t)$ é do tipo:

$$s(t) = A_m g[m(t)] \cos(2\pi f_c t) \quad (1)$$

onde $g[m(t)]$ é uma função do sinal mensagem $m(t)$. Como exemplo, para o caso AM-DSB+C, $g[m(t)] = 1 + \mu m(t)$, onde μ é o índice de modulação. Os alunos controlam a frequência da portadora, medem potência das bandas laterais para o caso de modulação tonal. Os demoduladores podem ser implementados com demodulação síncrona, ou por envoltória no caso AM-DSB+C.

Foi desenvolvido um modulador em que um tom senoidal $m(t)$ de amplitude 0.12V e frequência 1KHz, modulou uma frequência portadora de 10kHz e 0.15V de amplitude com resultados apresentados na Figura 3. Utilizou-se, também, um sinal de voz limitado em banda por um filtro passa-baixa antes da transmissão integrando o experimento a conceitos de filtragem apresentados anteriormente.

Figura 3 – Sinal AM representado no tempo e na frequência utilizando USRP e GRC remotamente com o TeamViewer



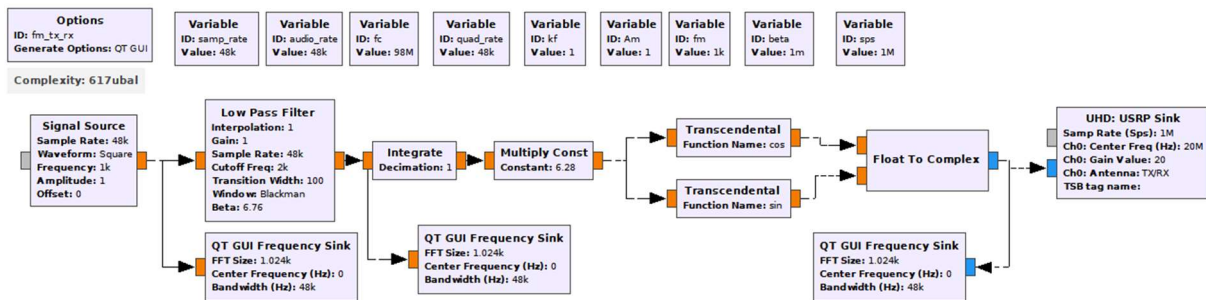
3.3 Modulação em Frequência – FM

Este experimento teve por objetivo demonstrar os conceitos de modulação em frequência, frequência instantânea, comportamento de espectro de modulação tonal em termos de função de Bessel e características de um sinal complexo. Foram utilizados blocos elementares do GRC para a construção de um modulador e demodulador FM, utilizando-se o método de sintetização digital em que as expressões matemáticas, apresentadas na Equação (2), são executadas diretamente por meio de processamento digital de sinais, sem recorrer a considerações específicas para simplificação do projeto, como acontece no caso FM de banda estreita, conforme diagrama apresentado na Figura 4.

$$s(t) = \text{Re}\{[A_m \cos(2\pi k_f \int_0^t m(\alpha) d\alpha) + jA_m \text{sen}(2\pi k_f \int_0^t m(\alpha) d\alpha)]e^{2\pi f_c t}\} \quad (2)$$

$$= A e^{-j2\pi\phi(t)}$$

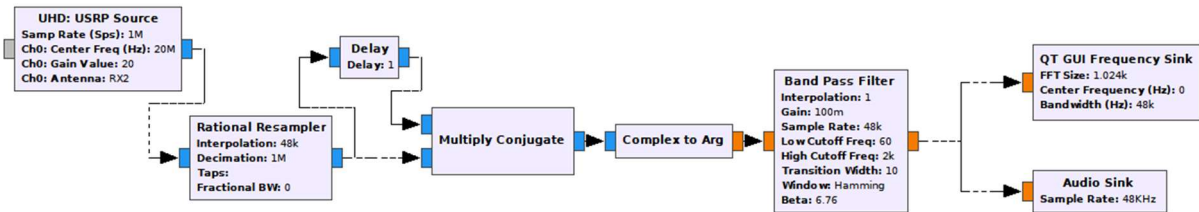
Figura 4 - Modulador FM derivado da Equação (2).



A demodulação foi realizada utilizando circuitos diferenciadores, conforme diagrama da Figura 5, implementados pela subtração das fases entre o sinal modulado e sua versão atrasada no tempo, conforme Equação (3). Foi também realizada a modulação e demodulação de um arquivo de áudio a fim de avaliar a qualidade deste em função de variação dos parâmetros dos blocos do GRC.

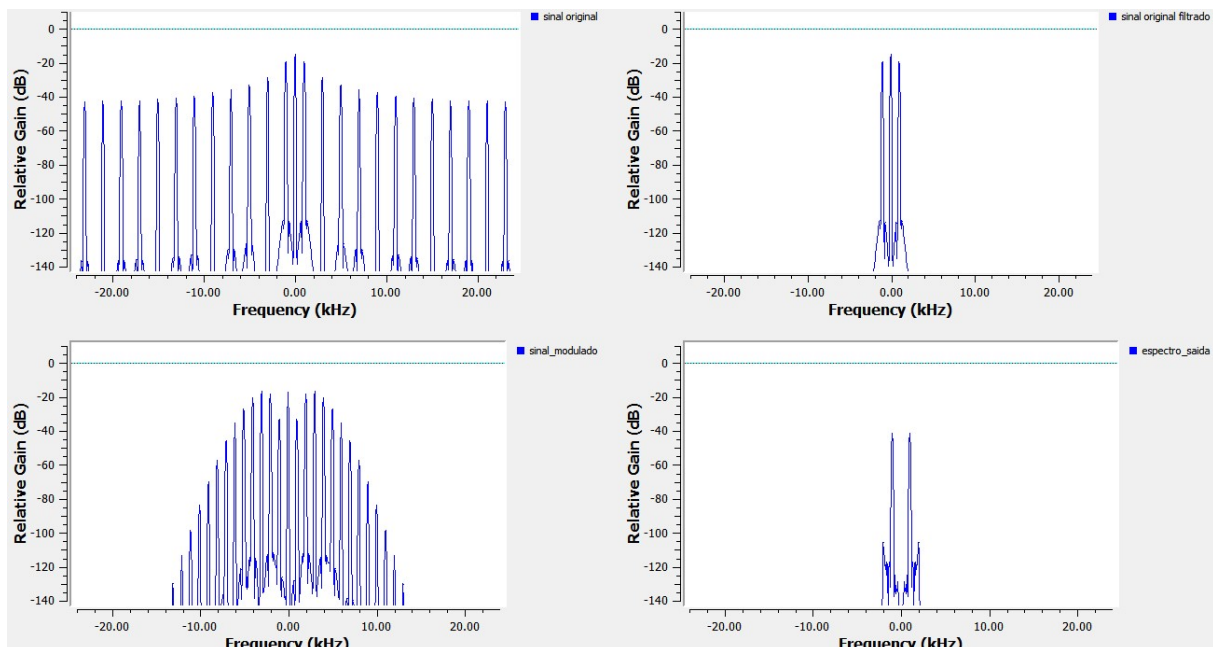
$$\arg[s(t)s(t-1)] = \arg[e^{-j2\pi\phi(t)}e^{-j2\pi\phi(t-1)}] \quad (3)$$

$$= -2\pi[\phi(t) - \phi(t-1)] = 2\pi m(t)$$

Figura 5 - Demodulador FM direto do sinal $m(t)$ 

O resultado do processo de modulação e demodulação está apresentado na Figura 6 abaixo. O aperfeiçoamento do experimento pode incluir o uso de VCO (*Voltage-Controlled Oscillator*) para modulação FM e a demodulação usando PLL (*Phase-Locked Loop*).

Figura 6 - Exemplos de resultados de observados para modulações FM, incluindo sinal modulante, sinal modulado e sinal demodulado.



3.4 Efeito de quantização linear e não-linear e codificação por forma de onda

A ideia básica deste experimento foi apresentar a métrica SNR (*Signal-Noise Ratio*) usando o ruído de quantização para os casos de quantização linear e compressão usando a Lei- μ ou a Lei-A. O experimento foi realizado sem a placa USRP, com sinais de áudio processados em tempo real e escoados para uma saída de áudio do computador.

3.5 Modulação digital em banda-base

Este experimento consistiu em transmitir um texto (“unb_ppgee”) em banda base com modulação por amplitude de pulso (PAM), com formatação *Root Raised Cossine* (RRC) executada por meio de filtros, de acordo com o modulador apresentado na Figura 7. Didaticamente, permitiu-se a variação da intensidade do ruído do canal e outros fatores de *design* dos filtros. De forma prática, o experimento evidenciou a necessidade de sincronismo de bit no receptor e permitiu observar o efeito de interferência intersimbólica (ISI) sobre a

informação transmitida, dado que foi usado filtro RRC, conforme resultados mostrados na Figura 8.

Figura 7 – Diagrama de Blocos Modulador PAM

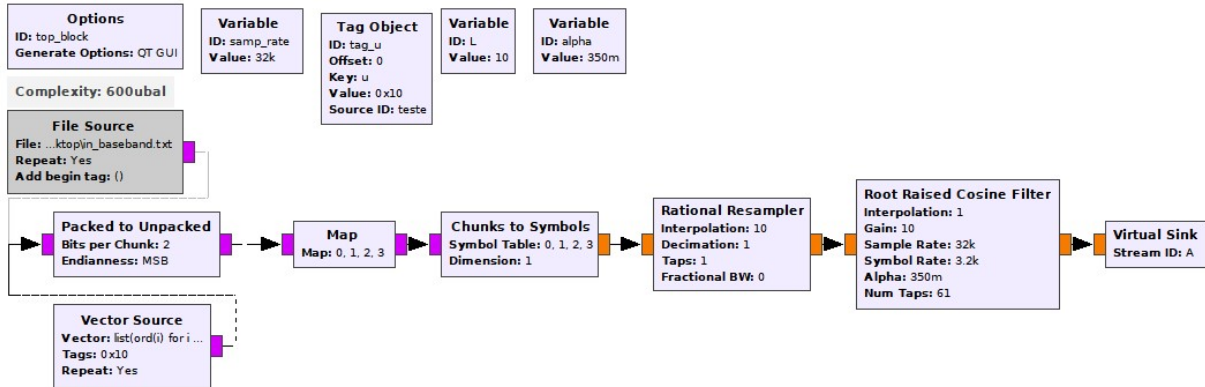


Figura 8 – Arquivo de saída corrompido por efeito ISI

out_baseband - Bloco de Notas

Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda

```

| unb_ppgee unb_ppgee unb_ppgee unb_ppgee unb_ppgee unb_ppgee unb_ppgee unb_ppgee unb_pp
| unb_ppgee unb_ppgee unb_ppgee unb_ppgee pZa_ppgee unb_ppgee unb_ppgee unb_ppgee unb_ppgee
| unb_ppgee unb_ppgee unb_ppgee unb_ppgee u.!0ppSe| unb_ppgee unb_pp' Q|unb_ppge`ldjaZp`'ee u
| unb_ppgee unb_ppgee unb_ppgee unb_ppWee unb_ppgee unb_ppgee unb_ppgee unb_ppgee unb_ppgee
| unb_ppgee unb_ppgee unb_ppgee unb_ppgee unb_ppgee unb_ppgea|u)a_ppgee unb_ppgee unb_ppgee
| 0`gee unb_ppgee unb_ppgee unb_ppgee unb_ppgee unb_ppgee unb_ppgee unb_ppgee unb_ppgee unb
| unb_ppgee unb_ppgee q]"p`gee unb_p0'aP|unb_ppgee unb_ppgee unb_ppgee unb_ppgee unb_ppgee u
| unb_ppgee unb_ppgee unb_ppgee unb_ppgee unb_ppgee unb_ppgee unb_ppgee una pgee unb_ppgee |
| unb_ppgee uma
    
```

3.6 Modulação digital em banda passante

Os alunos realizam modulações tradicionais, tais como M-QAM e M-Phase Shift Keying (M-PSK) na presença de ruído. Em um caso específico de pós-graduação, foram realizados experimentos mais complexos utilizando-se redes *Multilayer Perceptron* (MLP) para um classificador de símbolos QPSK utilizando um conjunto de dados de treinamento cujas amostras já continham, para cada rótulo de símbolo (00, 01, 10, 11), distorções causadas por ruído AWGN, defasagem de sincronismo e outras imperfeições simuladas no GRC. Foram necessários softwares adicionais como Anaconda, Jupiter, Scikit-Learn, bem como filtros especiais, como o polifásico do GRC, para trabalhar o sincronismo do sinal recebido. A Figura 9 apresenta a matriz de confusão da classificação de 5000 símbolos de cada rótulo em um sistema QPSK com demodulação tradicional baseada em limiar de decisão fixo e um sistema com classificação baseado em rede MLP 5x5 com função de ativação tangente hiperbólica em ambiente fortemente ruidoso. O resultado indica uma melhoria na determinação do símbolo utilizando técnicas de redes neurais na classificação dos símbolos.

Figura 9 - Matriz de confusão de classificador tradicional (esquerda) e classificador MLP (direita)

```

array([[4920, 0, 0, 0], array([[4918, 0, 1, 1],
    [2380, 2487, 0, 0],         [ 0, 4863, 2, 2],
    [ 27, 26, 2541, 2547],      [ 1, 2, 5133, 5],
    [ 2, 5070, 0, 0]])         [ 0, 1, 4, 5067]])
    
```



4 PROPOSTA PARA UM LABORATÓRIO DE COMUNICAÇÕES EAD

Com o aumento da complexidade e sofisticação dos transceptores modernos, torna-se necessário preparar o estudante para projetos que envolvam necessariamente o uso hardware digital. O intuito é suprir a lacuna de informação existente entre o entendimento de diagramas de blocos, usados para transmitir a ideia geral do funcionamento de um transceptor, e a implementação em hardware destes mesmos diagramas.

Neste artigo, propõe-se a substituição das bancadas tradicionais por apenas equipamentos essenciais baseados em SDR: computadores com os softwares GRC e TeamViewer e o USRP. As medições são todas realizadas usando a interface gráfica do GRC e os instrumentos de medição embutidos no USRP, podendo ser utilizados remotamente com o TeamViewer. Uma metodologia presencial de aulas consiste em o aluno transmitir um sinal para o rádio do professor bem como o professor poder transmitir sinais para o receptor elaborado pelos alunos avaliando parâmetros específicos determinados na aula.

Há a possibilidade de se ter como saída um arquivo com os resultados gerados pelo sistema proposto, o qual pode ser encaminhado ao professor para execução *a posteriori*, em trabalhos que demandem mais tempo que o período de aulas de laboratório.

Finalmente, a proposta possibilita realizar experimentos a distância em um laboratório equipado com hardware SDR e computadores que possam ser acessados remotamente, podendo inclusive filmar o experimento e observar o status dos LED de status do *front-end*, quando acessada a câmera do hospedeiro. No âmbito deste artigo, foi instalado o aplicativo TeamViewer para demonstrar a realização de testes de simulação utilizando o GRC a partir de um computador remoto e todos os experimentos apresentados neste trabalho foram testados por meio remoto. Os resultados mostraram controle total de todos os parâmetros de simulação associado à vantagem de que o processamento de todos os dados foi realizado pelo computador hospedeiro, o que viabiliza o teste de aplicações que requerem maior processamento sem a necessidade de planos de internet fora dos convencionais. As plataformas de ensino a distância têm ganhado grande penetração de mercado e poderiam ser complementadas por esse tipo de prática de laboratório. Além disso, em situações emergenciais, como as decorrentes da limitação de locomoção devido a pandemia da COVID-19, a estrutura de laboratório remoto permaneceria funcionando possibilitando o acesso aos experimentos remotamente. Destaca-se que apenas o acesso é remoto, os experimentos estariam ocorrendo de forma real no laboratório. Esse tipo de abordagem aumenta o alcance dos laboratórios universitários uma vez que qualquer usuário conectado a uma rede/internet poderia acessá-lo e obter resultados reais, assim o alcance seria praticamente mundial. A disponibilidade dos laboratórios também seria aumentada visto que os sistemas poderiam ser mantidos em funcionamento praticamente 24h por dia, parando apenas para manutenções. O custo de implantação é competitivo com relação aos equipamentos tradicionais, mas a possibilidade de o laboratório ser operado remotamente permite algumas flexibilidades, como ser compartilhado com outras instituições (ou campi) e a utilização em qualquer horário, sem a necessidade de um técnico ou professor, caso o transmissor e receptor sejam conectados diretamente.

5 CRÍTICAS E PONTOS POSITIVOS

Observaram-se algumas limitações do uso das ferramentas USRP e do ambiente GRC. A primeira dificuldade está na necessidade de um pré-requisito de programação Python para alterar os elementos que dependem de malha de realimentação, como PLL e Costas Loop. O grau de liberdade para alterar os parâmetros correspondentes aos blocos prontos é

relativamente baixo, e um projeto mais detalhado pode tomar muito tempo do aluno para cobrir lacunas de programação. Tal limitação pode ser superada deixando os blocos necessários, programados à priori pelo professor, à disposição dos alunos. Um segundo ponto negativo é a relativa pobreza de documentação dos blocos do GRC, em geral confusas para alunos que não estão familiarizados com programação orientada a objetos. O TeamViewer para acesso remoto pode apresentar lentidões em alguns momentos dependendo da estabilidade e velocidade da conexão com a internet.

Apesar da existência de alguma limitação no uso da ferramenta GRC, alguns aspectos positivos foram notados. Em entrevista, os alunos forneceram avaliação positiva do emprego dos experimentos, mesmo em condições quando não havia o uso da placa USRP. A simples simulação no ambiente GRC ajudou compreensão dos mecanismos básicos de translação em frequência do espectro usando misturadores, a relevância de filtros no transmissor e receptor e as dificuldades inerentes aos processos de sincronismo em seus diversos níveis (portadora, quadro e símbolo).

A licença gratuita do TeamViewer só permite a conexão de um usuário e requer a utilização de um código para cada conexão, exigindo a presença de alguém no laboratório. Entretanto, com valores inferiores a R\$2.000,00 por ano é possível comprar licenças suficiente para o acesso de até 50 usuários e configurar o acesso sem senha ao servidor. O TeamViewer foi escolhido para possibilitar uma configuração rápida para testes. Um ambiente mais elaborado pode ser utilizado gratuitamente por meio de plataformas Linux e software de acesso Reminna.

Diversas são as aplicações dos SDR permitindo-se reutilizar o mesmo equipamento em mais de um laboratório, cobrindo assuntos como projeto de filtros, processamento de áudio e vídeo e Comunicações Digitais. Há espaço também para estudo de sistemas como enlaces satelitais e sistemas de telefonia celular (geração de formas de onda GFD - *Generalized Frequency Division Multiplexing* - para 5G) e até mesmo radioastronomia. No campus UnB-FGA, o módulo USRP é utilizado para traçar diagramas de radiação de antenas.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No estudo de caso apresentado com as ferramentas USRP e GRC, conceitos básicos de comunicação analógica e digital puderam ser realizados sem osciloscópios e equipamentos geradores de funções tradicionais. Esse novo ambiente de experimentação permitiu explorar, em sala de aula, o funcionamento de um rádio real e as principais limitações do ambiente prático associado a um baixo custo de bancada frente a um laboratório tradicional. Tal situação estimula a criatividade para desenvolvimento de sistemas mais complexos, aprofundando o entendimento das aulas expositivas. Os experimentos também puderam ser executados remotamente destacando a capacidade do emprego desse tipo de laboratório em apoio às instituições EAD. Como trabalhos futuros, sugere-se a implantação um ambiente de laboratório cujos elementos irradiantes possam ser posicionados remotamente aumentando a complexidade dos experimentos.

REFERÊNCIAS

BAZDRESCH, Miguel; VELAYUDHAN, Sneha; JOHNSON, William. A satellite ground station for teaching digital and wireless communications. In: **2016 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)**. IEEE, 2016. p. 1-4.



DINIZ, Priscila Crisfir Almeida et al. Utilização de rádio definido por software para análise de sinais aplicados ao ensino em engenharia. 2013.

LINN, Yair. An ultra low cost wireless communications laboratory for education and research. **IEEE Transactions on Education**, v. 55, n. 2, p. 169-179, 2011.

MAROJEVIC, Vuk et al. Measuring Hardware Impairments with Software-Defined Radios. In: **2018 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)**. IEEE, 2018. p. 1-6.

MITOLA, Joseph. The software radio architecture. **IEEE Communications magazine**, v. 33, n. 5, p. 26-38, 1995.

PETROVA, Marina; ACHTZEHN, Andreas; MÄHÖNEN, Petri. System-oriented communications engineering curriculum: teaching design concepts with SDR platforms. **IEEE Communications Magazine**, v. 52, n. 5, p. 202-209, 2014.

REIS, André LG et al. Software defined radio on digital communications: A new teaching tool. In: **WAMICON 2012 IEEE Wireless & Microwave Technology Conference**. IEEE, 2012. p. 1-8.

WELCH, Thad B.; WRIGHT, Cameron HG; MORROW, Michael G. Software defined radio: Inexpensive hardware and software tools. In: **2010 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing**. IEEE, 2010. p. 2934-2937.

XU, Zhengguang et al. Towards a student-centered lab design for learning principles of communications. In: **2017 IEEE 6th International Conference on Teaching, Assessment, and Learning for Engineering (TALE)**. IEEE, 2017. p. 475-478.

THE USE OF SOFTWARE DEFINED RADIO IN DIDACTIC LABORATORIES WITH RESOURCES FOR DISTANCE LEARNING

Abstract: *A typical setup of a didactic telecommunication laboratory requires high cost equipments. The technology of Software Defined Radio (SDR) allows several experiments with the same equipment and a reasonable price. The experimental topic can be changed by modifying the functions of hardware, in other words, modifications in software. The experiments could be done locally and remotely. This characteristic can be explored for Distance Learning using SDR. This paper shows the usage of GNU Radio and Universal Software Radio Peripheral (USRP) as a kit for several didactic communication experiments. These tools can also be accessed remotely and could be used for Distance Education.*

Keywords: *Teaching. GNU Radio. Laboratories. USRP. EAD.*