

AMBIENTE MULTIPLATAFORMA DE SIMULAÇÃO DE UM SISTEMA DE COMUNICAÇÃO DIGITAL - ASSICOM

Igor Flávio Simões de Sousa – igorvolt@gmail.com
Rogério Guerra Diógenes Filho – rogerio.diogenes.f@gmail.com
Francisco José Alves de Aquino – fcoalves_aq@ifce.edu.br
 Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Ceará
 Av. Treze de Maio, 2081 – Benfica
 CEP: 60040-531 – Fortaleza – Ceará

Resumo: Neste artigo é apresentado o Ambiente Multiplataforama de Simulação de Sistemas de Comunicação Digital, ASSICOM, visando o uso didático tanto na graduação quanto no ensino técnico. O ASSICOM poderá auxiliar o estudo sobre o comportamento de um sistema de comunicação digital fornecendo ao estudante a escolha de alguns parâmetros que constituem um sistema real, como o tipo de modulação, o modelo de canal, a relação sinal-ruído, o uso ou não de equalização e o equalizador escolhido. Para o desenvolvimento deste ambiente de simulação foi utilizado a linguagem de programação Java.

Palavras-chave: Simulação, Comunicação Digital, Multiplataforma, Java.

1 INTRODUÇÃO

O enorme avanço tecnológico nas áreas de telecomunicações e eletrônica, tendo como suporte o desenvolvimento da física aplicada, fez com que os sinais transmitidos, em grande parte, migrassem do mundo analógico para o meio digital. Hoje, a maior parte dos sistemas de comunicações já é digital (PROAKIS, 1995; CARLSON 1986).

Fundamentalmente, uma mensagem digital não é nada mais do que uma sequência ordenadas de símbolos produzidos por uma fonte de informação discreta (CARLSON, 1986). De forma simplificada, um sistema de comunicação digital pode ser representado de acordo com a Figura 1. Entende-se por canal discreto o cascadeamento Modulador-Canal-Demodulador, de modo que a entrada e a saída do canal são símbolos discretos.

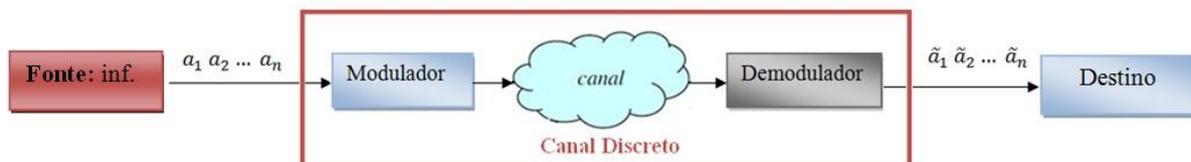


Figura 1: Esquema em blocos de um sistema de comunicação digital.

Ao passar pelo canal, o sinal transmitido pode ser corrompido de forma aleatória por diversos mecanismos: adição de ruídos, atenuação, seletividade em frequência, deslocamento de fase, que são, em geral, dependentes do tempo. Uma estrutura adicional pode ser alocada entre o canal e o demodulador, a fim de compensar o efeito do canal no sinal transmitido de modo que o demodulador consiga entregar a informação recebida corretamente. Essa estrutura é denominada equalizador.

Neste trabalho é apresentado um *software* a fim de ser utilizado como um ambiente de simulação para o estudo de um sistema de comunicação digital. Neste ambiente são abordados alguns parâmetros e dispositivos utilizados em um sistema de comunicação digital, tais como tipo de modulação, nível de ruído na transmissão, equalizador, entre outros.

2 TRABALHOS RELACIONADOS

Sistemas interativos baseados em softwares podem ser utilizados para complementar a forma tradicional de ensino. Esses sistemas podem aumentar a produtividade do educador por favorecer a aprendizagem do estudante (BENGU & SWART, 1996). Temos como exemplo o MINIX (TANENBAUM, 1996) que tem como objetivo permitir ao usuário entender o funcionamento de um sistema operacional e o GNS3 (GNS3, 2011) que simula ambientes de redes de computadores para testes de configurações de roteadores e afins. Porém há poucos softwares específicos para determinadas áreas da engenharia, como nas disciplinas que abordam sistemas de comunicações, onde os simuladores existentes geralmente são implementados com base em um programa matemático, como exemplo temos (RIBEIRO et al., 2010), que implementou utilizando o software livre Scilab; (LOPES & FASOLO, 2004) e (LOPES et al, 2004), utilizando o Matlab®. Esses dois últimos trabalhos voltados à análise de sistemas de televisão digital, que pode desfavorecer a utilização no ensino por tratar-se de algo focado em uma área mais específica.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Antes de apresentar o simulador proposto, é imprescindível apresentar os conceitos teóricos envolvidos neste trabalho, tais como: interferência entre símbolos, equalização e algoritmo *Least Mean Square* (LMS).

3.1 Interferência entre símbolos

Ao se transmitir um sinal por um canal de comunicação sem fio, esse pode sofrer o efeito de múltiplos percursos. Dessa forma, o sinal chega ao receptor por vários caminhos, tal situação é ilustrada na Figura 2. Este efeito torna-se mais evidente quando a taxa de transmissão em um canal de rádio é aumentada, pois torna o canal mais dispersivo no tempo o que acarreta um maior espalhamento do sinal pelo canal. Este fenômeno é responsável pelo aparecimento da interferência entre símbolos (IES, em inglês: *Intersymbol Interference*, ISI), que pode degradar fortemente o sinal recebido. A IES pode acarretar em aumento significativo da taxa de erro de bit (TEB, em inglês: *Bit Error Rate*, BER) na comunicação, sendo um fator potencialmente mais importante que o próprio ruído (PROAKIS & MANOLAKIS, 2007).

Matematicamente, podemos representar o sinal recebido por:

$$y_i = \sqrt{E}a_i + \sum_{\substack{k=-\infty \\ k \neq i}}^{\infty} a_k p_{i-k} \quad (1)$$

Em (1), os termos y_i e a_i representam os símbolos recebidos e enviados no instante i . O primeiro termo da equação representa o símbolo transmitido, exceto pelo fator de escala \sqrt{E} que representa a energia do símbolo transmitido. O segundo termo envolve o efeito combinado de todos os outros símbolos binários transmitidos antes e depois de a_i (HAYKIN & MOHER, 2008). Esse termo residual representa a IES.

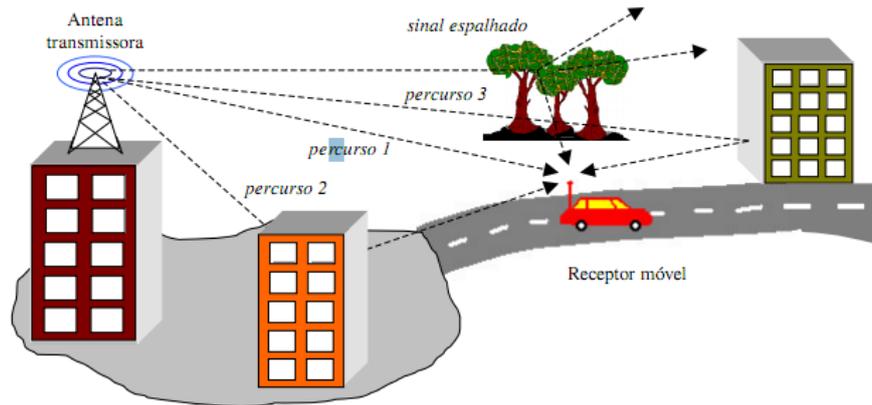


Figura 2: Meio de propagação com múltiplos percursos.

3.2 Equalização

As alterações provocadas no sinal de informação pelo canal de comunicação devem ser compensadas no receptor. Para tanto, faz-se necessário o uso de equalizadores nos receptores com intuito de manter elevadas taxas de transmissão e deixar a TEB em valores aceitáveis. Idealmente, um equalizador visa a obter a função de transferência inversa do canal, de modo que o cascadeamento Canal-Equalizador, em uma situação ideal, cancele totalmente o efeito do canal. A Figura 3 ilustra uma realização prática de um equalizador introduzido no receptor.

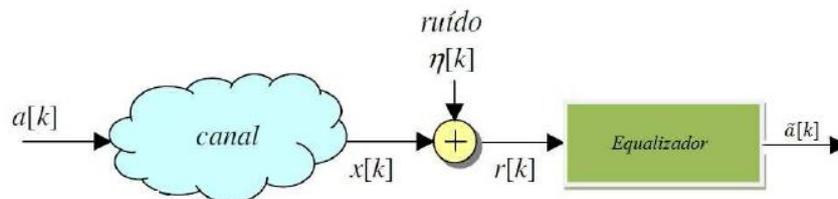


Figura 3: Esquema ilustrando a utilização do equalizador.

No equalizador ideal, a saída é exatamente igual ao sinal transmitido. Contudo, na prática não é possível projetar um equalizador que realiza a função de transferência inversa do canal. Em situações práticas, como ilustrada na Figura 3, é possível observar que a saída do equalizador não é exatamente igual ao sinal de informação transmitido $a[k]$. A equalização perfeita do sinal é obtida apenas em condições ideais que não são possíveis fisicamente. O papel do equalizador prático é estimar o sinal da entrada do canal de modo que o erro, $e[k] = a[k] - \hat{a}[k]$ seja o menor possível.

3.2.1 Filtragem adaptativa

Os filtros adaptativos baseiam-se em algoritmos recursivos para ajuste dos seus parâmetros, mais especificamente, de seus coeficientes, com intuito de minimizar o erro. Tais filtros variam seus coeficientes com o tempo e adaptam-se automaticamente a alterações no canal de comunicação.

A utilização de um filtro do tipo FIR (*finite impulse response*) no equalizador não é obrigatória, mas, na prática, a maioria dos filtros adaptativos não utiliza estruturas do tipo IIR (*infinite impulse response*). Uma das principais (talvez a principal) razões para escolha de um filtro FIR diz respeito a sua estabilidade, pois estes são inerentemente estáveis. Isto não impede que um filtro adaptativo seja implementado utilizando uma estrutura IIR, mas para

isso, o algoritmo adaptativo deve ser especialmente robusto e, com isso, mais complexo (PROAKIS & MANOLAKIS, 2007).

3.2.2 Algoritmo *Least Mean Square* – LMS

É dita solução ótima de Wiener a solução da equação que minimiza o erro médio quadrático, tal solução é expressa por:

$$W = R^{-1}P, \quad (2)$$

onde:

- W é a vetor de coeficientes do filtro adaptativo;
- R é a matriz de autocorrelação do vetor de entrada;
- P é a vetor de correlação cruzada entre o vetor de entrada e o sinal desejado.

A solução ótima de Wiener apresenta algumas limitações, como a determinação de P e R , que na maioria das vezes não conhecemos a priori. Outro fator agravante é a inversão de matriz, fator que requer um custo computacional elevado.

O algoritmo LMS fornece uma solução menos complexa no ponto de vista computacional e suficiente para acompanhar possíveis mudanças do sistema, pois ele é adaptativo. Com isso, temos a solução para o algoritmo LMS dada por:

$$W_{k+1} = W_k + 2\mu X_k e_k, \quad (3)$$

onde:

- W_{k+1} é o vetor de coeficientes do filtro no instante $k+1$;
- X_k é o vetor com as amostras da entrada atual e suas n versões atrasas, onde n é a ordem do filtro;
- e_k é o erro no instante k .

A estimativa do erro e_k exige que esteja disponível uma sequência de treinamento no receptor. O μ é o passo de adaptação, ele determina a rapidez que o algoritmo LMS converge para a solução ótima de Wiener. Ele pode ser escolhido de acordo com:

$$0 < \mu < \frac{1}{(N + 1) * (\text{Potência do sinal})}, \quad (4)$$

em que N é o número de coeficientes do filtro adaptativo (ordem do filtro).

Para cada iteração é feito:

• Passo 1: $Y_k = X_k^T W_k;$ (5a)

• Passo 2: $e_k = d_k - y_k;$ (5b)

• Passo 3: $W_{k+1} = W_k + 2\mu X_k e_k.$ (5c)

Um exemplo ilustrativo de um equalizador LMS é ilustrado na Figura 4.

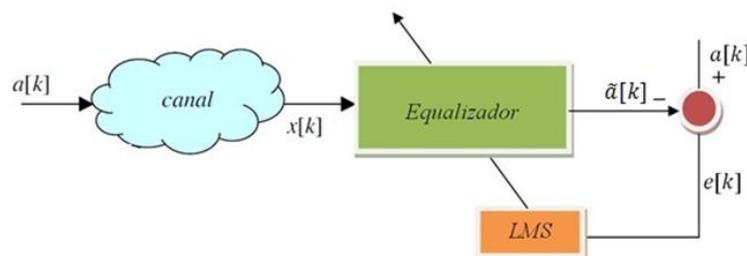


Figura 4: Exemplo de equalizador utilizando o algoritmo LMS.

4 FERRAMENTA DE SIMULAÇÃO: ASSICOM

O estudo de sistemas de comunicação não é um assunto trivial, principalmente pelo fato de utilizar constantemente a álgebra dos números complexos, o que pode dificultar o aprendizado dos estudantes. Sem o auxílio de simulações exemplificando os sistemas existentes, estes conceitos podem permanecer abstratos para a maioria dos estudantes. Nesse cenário, é apresentado um *software* que visa a auxiliar o professor no ensino de sistemas de comunicações e aos alunos quanto à compreensão. Ao contrário do famoso Matlab, trata-se de um *software* livre.

O simulador desenvolvido por (RIBEIRO *et al.*, 2010) necessitava que o Scilab fosse instalado. Por este motivo optou-se pela utilização da linguagem de programação Java para o desenvolvimento do ASSICOM. Assim o *software* pode ser executável em qualquer sistema operacional, desde que este possua uma Java *Virtual Machine* (JVM) instalada, tornando-o multiplataforma.

Os recursos gráficos do simulador foram desenvolvidos utilizando a *Application Programming Interface* (API) Swing para a criação das telas e a API *JfreeChart* para os gráficos. De acordo com (BORBA & VILLAREAL, 2005), o principal *feedback* dados pelos *softwares* se refere ao aspecto visual. Com base nessa afirmação, a interface gráfica foi desenvolvida de forma a torná-la intuitiva. Na tela principal do simulador, ilustrada na Figura 5, é possível selecionar alguns parâmetros relevantes de um sistema de comunicação digital, tais como: tipo de modulação, relação sinal-ruído, tipo de canal, tipo de equalizador, texto a ser transmitido. Os campos “Real” e “Imaginário” serão habilitados somente quando o aluno escolher no campo “Tipo de Canal” a opção “Usuário”. Assim ele pode modificar os coeficientes do canal de comunicação obtendo um canal personalizado. A mensagem a ser transmitida deve ser inserida no campo “Texto a ser transmitido” e a simulação é inicializada quando o estudante clicar no botão “SIMULAR”.



Figura 5: Tela principal.

No campo “Tipo de Modulação” é possível escolher entre as modulações BPSK, 4QAM e 16QAM (Figura 6a). Na simulação o demodulador estará presente, sendo o algoritmo de decisão utilizado neste, de acordo com a modulação selecionada. No campo “Relação Sinal-Ruído” tem opções de 0, 10, 20, 30 ou 40dB (Figura 6b). Enquanto no campo “Tipo de Canal” o estudante pode escolher qual o tipo que deseja simular com cinco possibilidades diferentes de propagação múltiplos percursos (Figura 6c). Para a escolha do equalizador temos quatro opções: sem equalização e LMS de ordem 5, 10 ou 15 (Figura 6d).

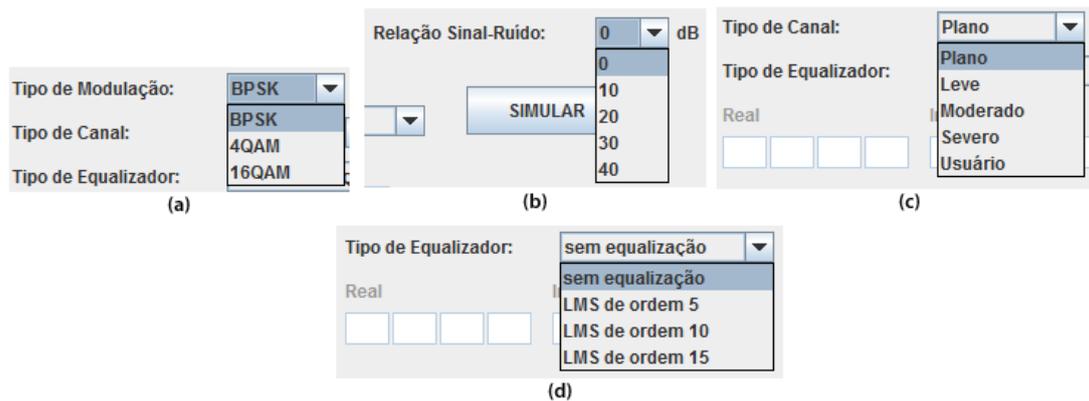


Figura 6: Possibilidades de seleção: (a) modulação, (b) relação sinal-ruído, (c) tipo de canal, (d) opção de equalização.

A seguir serão mostrados dois casos possíveis de simulação, onde o aluno poderá visualizar a constelação transmitida, a constelação recebida e os benefícios da equalização na constelação equalizada. Nos dois casos, a mensagem é precedida por uma sequência de treinamento usada para ajustar os coeficientes do equalizador.

4.1 Simulação com em propagação múltiplos percursos: Canal leve

As figuras 7 e 8 apresentam o resultado da simulação onde o ASSICOM foi configurado para utilizar modulação 4QAM, com 40dB de relação sinal-ruído, em um canal com leve propagação múltiplos percursos. A equalização foi feita utilizando o algoritmo LMS (ver equação 5) em um equalizador de 10ª ordem e com passo $\mu = 0,02$.

Como mostrado na Figura 7, a constelação recebida possui símbolos de um quadrante invadindo o quadrante vizinho, o que causará uma IES. Porém foi utilizado um equalizador cuja constelação é muito parecida com a que foi enviada, favorecendo ao código de decisão escolher os símbolos corretos para enviar ao demodulador. Na Figura 8 pode ser visto que a mensagem chegou sem erros ao receptor.

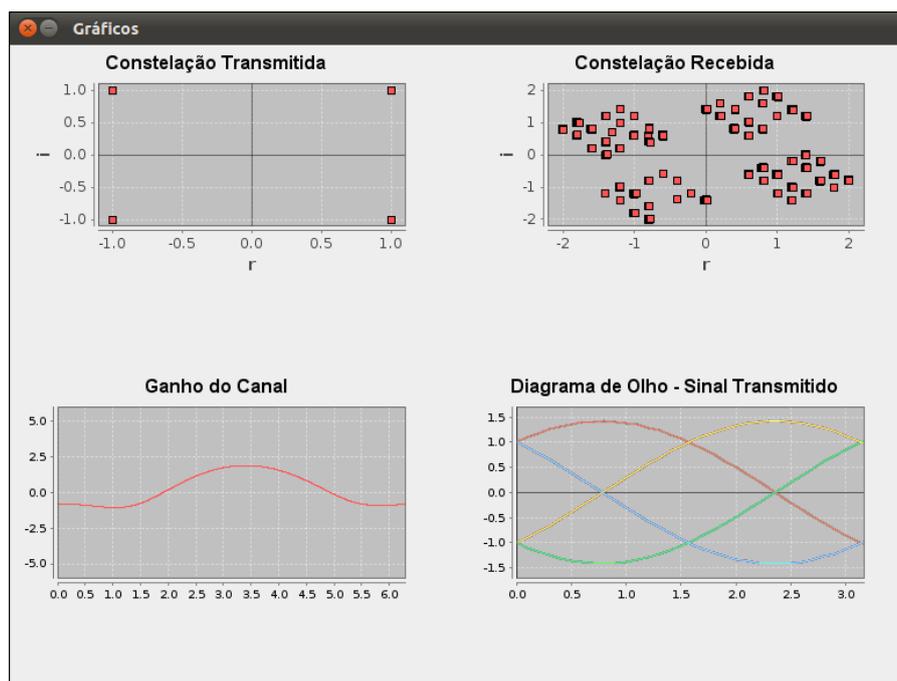


Figura 7: Primeira tela de gráficos da simulação com canal “leve”.

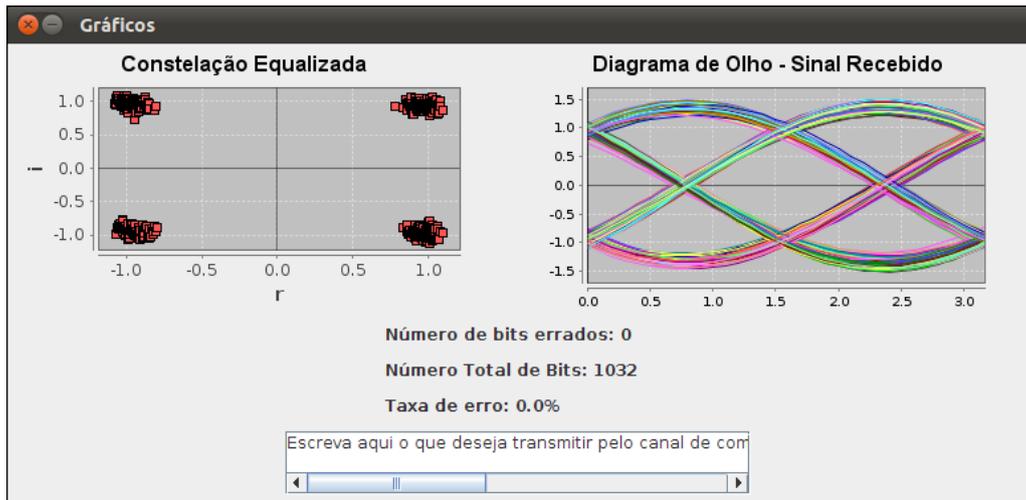


Figura 8: Segunda tela de gráficos da simulação com canal “leve”.

4.2 Simulação com propagação em múltiplos percursos: Canal moderado

Os parâmetros escolhidos para esta simulação são os mesmos da anterior excetuando o tipo de canal que foi trocado pelo moderado. Na Figura 9 pode ser visualizado que a constelação recebida está mais dispersada que a apresentada na Figura 8, o que ocasionaria um maior erro na demodulação.

Na constelação equalizada, Figura 10, embora os símbolos aparentemente estejam todos nos quadrantes corretos, o equalizador não conseguiu compensar perfeitamente o canal e ocorreram alguns erros nos símbolos recebidos. Isso ocasionou a escolha equivocada no código de decisão proporcionando um erro total de 2,91%.

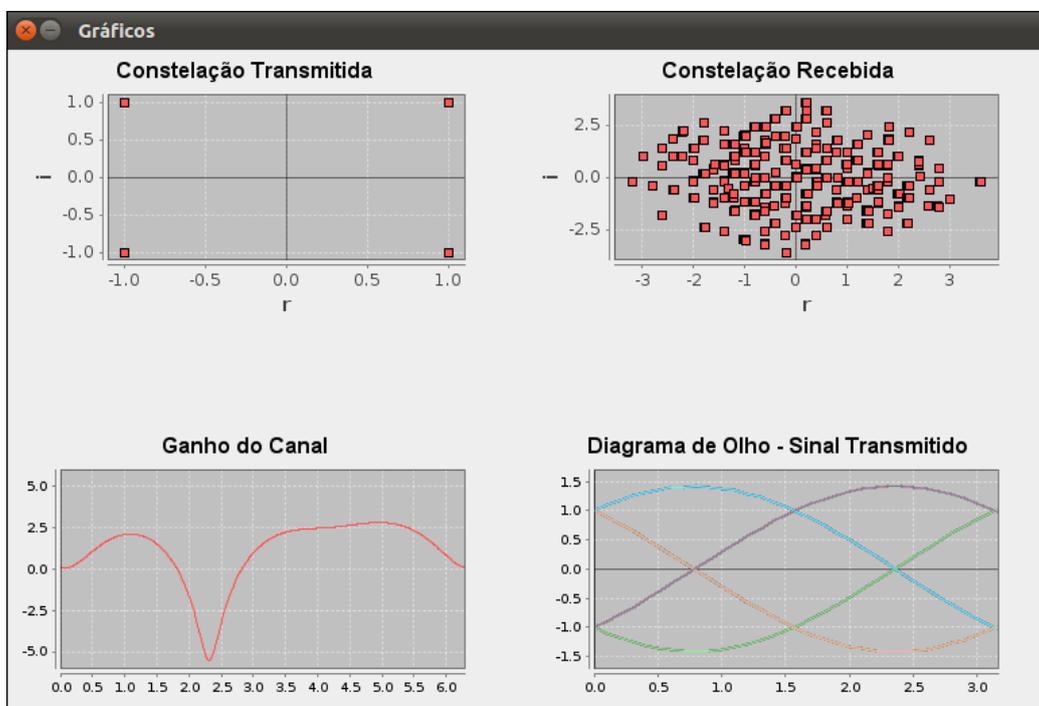


Figura 9: Primeira tela de gráficos da simulação com canal “moderado”.

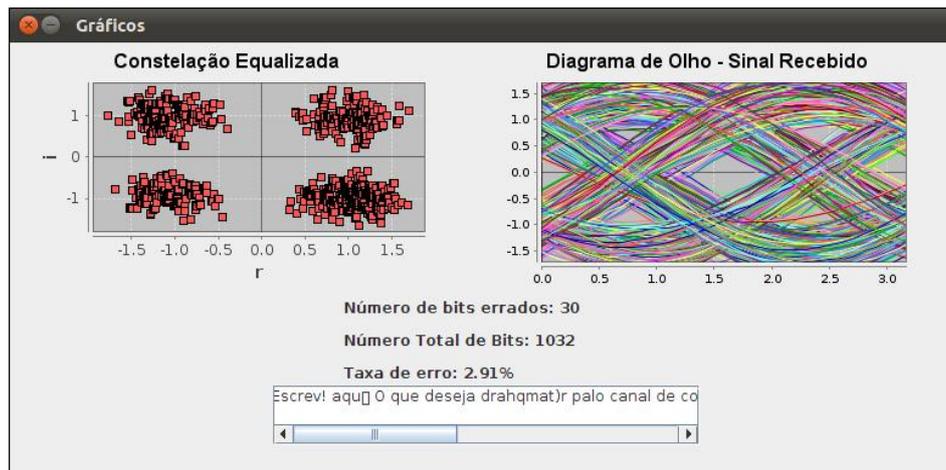


Figura 10: Segunda tela de gráficos da simulação com canal “moderado”.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização do ASSICOM permite ao usuário testar diferentes combinações possíveis com o intuito de observar diversos comportamentos de um sistema de comunicação digital. Isso proporcionará ao usuário, em especial, ao estudante, um melhor entendimento dos assuntos abordados em sala de aula caso seja utilizado como uma ferramenta de auxílio ao professor. Tanto aluno quanto educador não precisarão se preocupar com a instalação de um ambiente matemático específico ou com a aquisição de uma licença para uso de *software*.

A presente versão do ASSICOM não possui uma grande variedade de parâmetros para alteração. Em versões futuras desta ferramenta, iremos agregar mais recursos: seleção do algoritmo do equalizador, mais variedades de modulação, seleção de um código corretor de erro e uso de um equalizador mais eficiente que o linear.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Ceará (IFCE) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio material e financeiro para o desenvolvimento desta pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BORBA, M. C.; VILLAREAL, M. E. **Humans-With-Media and the Reorganization of Mathematical Thinking**: information and communication technologies, modeling, experimentation and visualization. New York: Springer, 2005.

BENGU, G. e SWART, W. A computer-aided, total quality approach to manufacturing education in engineering, **IEEE Transactions on Education**, v.39, n.3, p. 415–422, agosto. 1996.

CARLSON, A. B. **Communication Systems** – An Introduction to Signals and Noise in Electrical Communication. 3. Ed., McGraw-Hill International Editions, 1986. 416p.

GNS3. **GNS3, a free powerful network simulator based on Cisco IOS**. Disponível em: < <http://www.gns3.net/>>. Acesso em: 20 jun. 2011.

TANENBAUM, A. S. (1996) “**Minix Information Sheet**”. Disponível em: <<http://www.minix3.org/>>. Acesso em: 02 jul. 2011.

HAYKIN, S., MOHER, M. **Introdução aos Sistemas de Comunicação**. 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 2004. 516p.

LOPES, E. M.; FASOLO, S. A. Simulador para equalizador DFE no padrão ATSC de HDTV. **Anais: WORLD CONGRESS ON ENGINEERING AND TECHNOLOGY EDUCATION**. Brasil, Guarujá, 2004.

LOPES, E. M., FERREIRA, A. C., MARTINS, A. S., MELLO, R. L. C. Implementação de um Simulador para Equalização Adaptativa em Sistemas de Televisão Digital no padrão ATSC. **Revista Iberoamericana de Sistemas, Cibernética e Informática**, v.1, n.2, p. 53-57, 2004

PROAKIS, J. G. **Digital Communications**. 3a. Edição, McGraw-Hill, 1995.

PROAKIS, J. G.; MANOLAKIS, D. G. **Digital Signal Processing: Principles, Algorithms, and Applications**. 4. ed. Upper Saddle River (NJ): Pearson Education, 2007. 948 p.

RIBEIRO, P. A. L.; CAVALCANTE, E. O.; AQUINO, F. J. A. Ambiente de Simulação de um Sistema de Comunicação Digital Usando Software Livre. **Anais: Escola Regional de Computação dos Estados do Ceará, Maranhão e Piauí, Sobral (Ercemapi)**. Sobral: UVA, 2010.

**MULTI-PLATFORM SIMULATION ENVIRONMENT FOR
DIGITAL COMMUNICATION SYSTEM – ASSICOM**

Abstract: *This paper presents the Multi-platform Environment Simulation of Digital Communication Systems, ASSICOM, in order to use both in teaching undergraduate and technical education. The ASSICOM can help the study of the behavior of a digital communication system providing the student the choice of some parameters that constitute a real system, the modulation, the channel model, the signal-to-noise ratio, the use or not equalizer and the equalizer chosen. To develop this simulation environment we used the Java programming language.*

Key-words: *Simulation, Digital Communication, Multi-plataform, Java.*