



Modelo de Sistema de Comunicação Digital Usando SCILAB

Francisco José Alves de Aquino¹

¹Professor do Departamento de Telemática – IFCE, Campus Fortaleza. e-mail: fcoalves_aq@ifce.edu.br

Resumo: Em linhas gerais, este artigo descreve a implementação de um sistema de comunicação digital usando o *software* Scilab. O software desenvolvido pode ser usado como ferramenta auxiliar em diversas disciplinas dos cursos técnico em telecomunicações, tecnólogo em telemática, engenharia de telecomunicações. Inicialmente, são apresentados os básicos sobre comunicação digital, modulação, códigos corretores de erro e equalização, pois essas funções estão também incluídas no programa implementado. Um exemplo de simulação usando o software desenvolvido é apresentado. Em seguida, são detalhadas as principais características do *software* e as que se pretende incluir futuramente.

Palavras-chave: software livre, sistema de comunicação, Scilab

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, podemos identificar uma forte necessidade do uso de computadores e de *softwares* especializados para auxiliar o professor em sala de aula. O uso de *softwares* permite uma maior interatividade podendo ser um auxílio valioso para o estudante aprofundar e obter outro ponto de vista dos conhecimentos ensinados em sala de aula. Especialmente quando os conceitos abordados são menos concretos, como é o caso dos conceitos necessários em sistemas de comunicação, o uso de outros recursos além dos que são normalmente usados em sala de aula pode ajudar o estudante a dominar mais rapidamente os temas abordados.

Entretanto, tais *softwares* podem ter um custo relativamente alto (CANO & OSPINA, 2008), o que torna inviável para a maioria dos estudantes brasileiros adquirirem uma versão completa dessas ferramentas. Uma alternativa é o uso de *softwares* livres. Hoje, existem muitos desses *softwares* disponíveis para o uso em computação científica, como, por exemplo, FreeMat, Mathnium, Octave, R, SciLab e Matlab, sendo esse último um *software* proprietário. Esses *softwares* são analisados em detalhe por Glavelis et al (2010). Uma comparação mais específica entre SciLab e Matlab é apresentada em (JANÍK e ŽÁKOVÁ, 2011).

Neste artigo é apresentado o modelamento de um sistema de comunicação digital usando o SciLab. O SciLab é um *software* livre que pode ser instalado gratuitamente em qualquer computador. Atualmente, está na versão 5.3.3 e com uma nova versão de teste já disponível (versão 5.4.0). O SciLab pode ser executado em Windows, Linux e Mac OS X (SCILAB, 2012).

Um *software* deste tipo pode ser usado como ferramenta auxiliar tanto em cursos técnicos de nível médio quanto em cursos superiores de engenharia ou tecnólogos. Em particular, no IFCE – Campus Fortaleza, o *software* desenvolvido pode ser útil nas disciplinas de Rádio Transmissão (curso de telecomunicações - nível médio), Comunicação de Dados e Sistemas de Comunicação (cursos de engenharia de telecomunicações e tecnólogo em telemática).

O restante do artigo é organizado como segue. A Seção 2 apresenta alguns detalhes sobre o SciLab. A Seção 3 apresenta uma visão geral sobre um sistema de comunicação digital e os conceitos de equalizador e código corretor de erro. A Seção 4 apresenta o *software* desenvolvido, suas principais funcionalidades e algumas perspectivas para implementações futuras. Finalmente, a Seção 5 mostra as conclusões.

2. SOBRE O SCILAB

Várias universidades européias e escolas superiores de educação treinam seus alunos na domínio do Scilab e promovem a sua utilização. É também uma forma de preparar os futuros técnicos e engenheiros na utilização do Scilab nas suas vidas profissionais. Na França, o Scilab é usado no



exame oral para licenciatura em matemática. Scilab é ensinado e utilizado em muitas universidades e em famosas escolas de ensino superior, como Polytechnique, Centrale Paris, ENSTA, ENPC, etc. A Figura 1 mostra o “about” e o ambiente de trabalho do SciLab (SCILAB, 2012).

O SciLab é um *software* livre e apresenta muitas semelhanças com o famoso Matlab. Os programas podem ser escritos com um editor próprio, sendo interpretados e executados dentro do ambiente SciLab. SciLab tem código aberto e uma licença compatível com a GPL (*General Public Licence*). Todas as bibliotecas do SciLab são gratuitas com certificados aceitos e reconhecidos pela comunidade FLOSS (*Free Libre Open Source Software*). A licença é um dos principais critérios para a seleção de uma nova biblioteca Scilab. Esses e mais aqueles apontados por Glavelis et al (2010) e Janík e Žáková (2011) foram os principais motivos para se adotar o SciLab neste projeto.

Software livre são todos os programas que podem ser copiados e distribuídos com ou sem modificações, necessariamente sem nenhum custo. O usuário pode alterar e executar o código de acordo com suas necessidades, mas mantendo os direitos do autor do *software*. Essa é uma proposta que foi introduzida por Richard Stallman juntamente com um grupo de voluntários em 1984 (CANO & OSPINA, 2008).

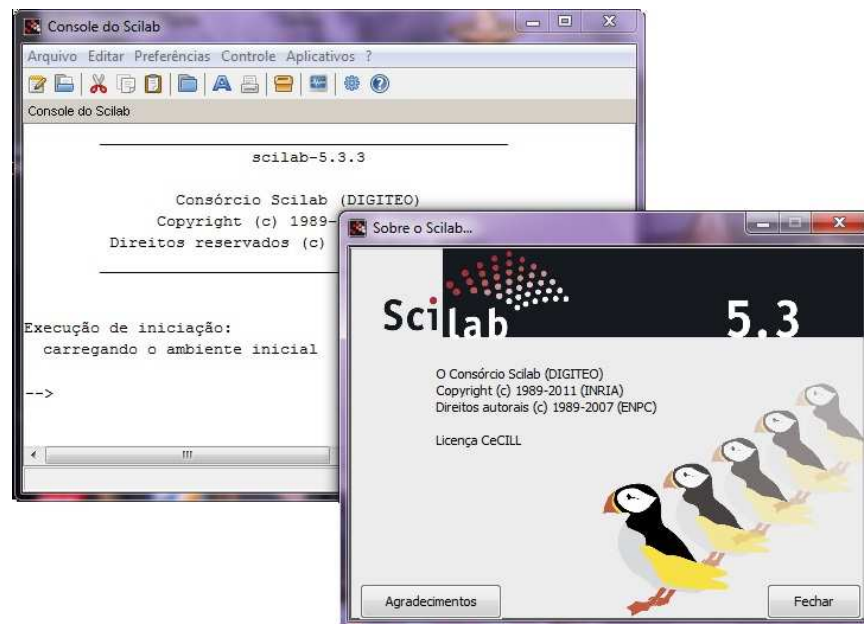


Figura 1 – Área de trabalho do Scilab e janela de “About”

3. CONCEITOS SOBRE SISTEMA DE COMUNICAÇÃO DIGITAL

Uma mensagem digital pode ser definida como sendo uma sequência de símbolos selecionados a partir de um conjunto finito de elementos discretos (“alfabeto”). Como a informação de uma mensagem digital está concentrada em símbolos discretos, um sistema digital de comunicação deveria entregar esses símbolos, com um grau especificado de precisão, no receptor em um intervalo de tempo definido (CARLSON, 1986). A Figura 2 ilustra um modelo de sistema de comunicação digital (PROAKIS, 1995). A Figura 3 exemplifica alguns tipos de constelações (alfabetos discretos) comumente usadas.

O canal de comunicação é o meio físico usado para transmitir o sinal do transmissor ao receptor. 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. Por exemplo, o efeito de seletividade em frequência pode transformar um único pulso transmitido em um trem de pulsos atrasados no receptor. A duração desse trem de pulsos é chamada de espalhamento de atraso (*delay spread*) (RAPPAPORT, 1996).

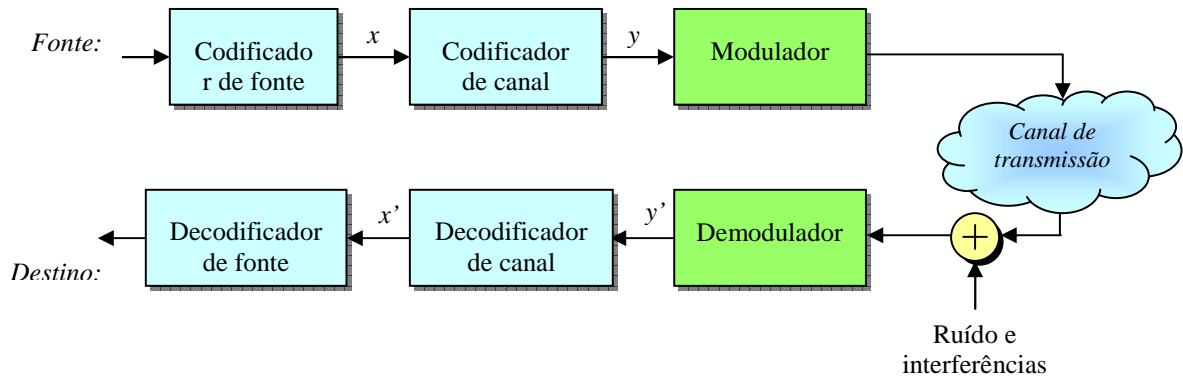


Figura 2: Modelo de um sistema comunicação digital

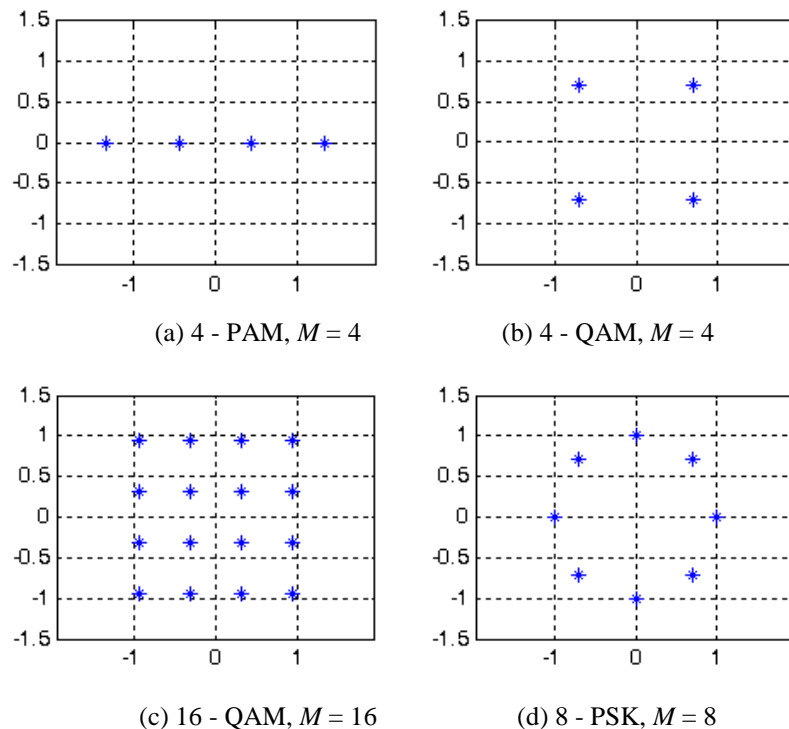


Figura 3: Exemplos de constelações, todas com energia média unitária

Em canais de comunicação sem fio (*wireless*), a seletividade em frequência do canal é causada pelo efeito de múltiplos percursos, isto é, o sinal transmitido chega ao receptor por vários caminhos. Esse efeito é responsável pelo aparecimento da interferência entre símbolos (IES), o que pode degradar fortemente o sinal recebido. Adicionalmente, o ruído está sempre presente no receptor. A relação sinal-ruído é também um fator importante de degradação do sinal recebido. Devido esses fatores que podem degradar o sinal recebido, no receptor podem ser utilizadas estratégias de equalização de canal combinados ou não com esquemas de códigos corretores de erros.

3.1 Fundamentos sobre Equalização

O canal de comunicação é um meio muito hostil à transmissão da informação digital. Por isso, é necessário algum processamento digital tanto no transmissor quanto no receptor para combater as distorções introduzidas pelo canal (possivelmente variante no tempo) de comunicação, principalmente a IES. Uma forma possível de realizar esse processamento é, a partir de uma combinação linear dos

dados corrompidos $r[k]$ que chegam ao receptor, encontrar uma estimativa $\tilde{a}[k]$ do sinal transmitido $a[k]$ (ver Figura 4), a qual é descrita por:

$$\tilde{a}[k] = \sum_{n=0}^M f_n[k] r[k-n] = \mathbf{f}^H[k] \mathbf{r}[k], \quad (1)$$

onde $(\cdot)^*$ indica a operação de conjugação complexa, $\mathbf{f}[k] = [f_0[k] \ f_1[k] \ \dots \ f_M[k]]^T$ é o vetor de coeficientes do estimador, o sobrescrito H denota a operação conjunta de transposição e conjugação (*hermitiana*) e $\mathbf{r}[k] = [r[k] \ r[k-1] \ \dots \ r[k-M]]^T$ é o vetor dos dados recebidos. O erro de estimação é dado por $e[k] = d[k] - \tilde{a}[k]$, onde $d[k]$ é o sinal desejado. A meta da estimação linear em (1.1) é encontrar um conjunto de coeficientes $\mathbf{f}[k]$ que, usando algum critério de otimização, minimize o erro de estimação no instante k . Para o caso do canal de comunicação ser variante no tempo, a equalização deve ser adaptativa com o uso de um algoritmo do tipo LMS (*Least Mean-Square*). Esse processo é conhecido como equalização linear (GOLDSMITH, 2005).

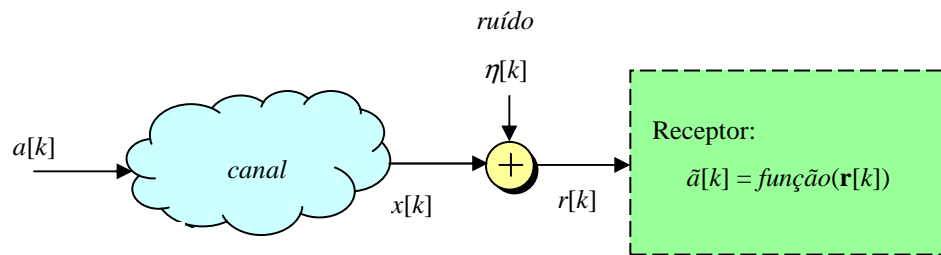


Figura 4: Modelo simplificado de um sistema de comunicação digital

3.2 Fundamentos sobre códigos corretores de erros

Mesmo após a equalização, podem ocorrer erros no sinal recebido. Se no transmissor for acrescentada alguma redundância controlada, o receptor deverá ser capaz de detectar o erro e corrigi-lo usando algum código corretor de erro. Os códigos corretores de erro podem ser divididos em dois grandes grupos: códigos de bloco e códigos convolucionais. Dentro de cada grupo existem vários tipos de códigos, para as mais diversas situações. Neste artigo o estudo será limitado aos códigos de bloco, pois foram esses que foram implementados no simulador de sistema de comunicação digital.

Os códigos de bloco são códigos em que a codificação e a decodificação são feitas processando-se blocos de informação. Nesse tipo de código existe a adição de redundância de forma controlada, a fim de utilizá-la para efetuar a detecção e correção de erros, dessa forma, para cada k dígitos de informação são gerados n dígitos codificados onde $n-k$ são os dígitos de redundância ou paridade. A taxa R_c do código é dada por $R_c = n/k$. No simulador foram implementados dois tipos de códigos de bloco: o de checagem de paridade (ver Figura 5) e códigos de Hamming. Para mais detalhes ver, por exemplo, Carlson (1986).

\mathbf{b}_0	\mathbf{b}_1	\mathbf{b}_2	\mathbf{b}_3	v_0
\mathbf{b}_4	\mathbf{b}_5	\mathbf{b}_6	\mathbf{b}_7	v_1
\mathbf{b}_8	\mathbf{b}_9	\mathbf{b}_{10}	\mathbf{b}_{11}	v_2
\mathbf{b}_{12}	\mathbf{b}_{13}	\mathbf{b}_{14}	\mathbf{b}_{15}	v_3
h_0	h_1	h_2	h_3	

Figura 5: Dados com bits de paridade verticais e horizontais para checagem de paridade, código com taxa 2/3

4. SOFTWARE DESENVOLVIDO

O *software* foi desenvolvido pensando em ser um material de apoio pedagógico, como um elemento de formação para o ensino das disciplinas que são ensinadas na área de comunicação tanto de cursos de nível médio quanto de nível superior. Conceitos mais avançados que estão presentes no modelo desenvolvido podem ser apenas citadas superficialmente pelo professor das disciplinas dos estudantes de nível médio, enquanto o professor de disciplinas dos cursos superiores pode explorar a fundo esses elementos. Assim, espera-se que o professor possa interagir com o aluno na elaboração de atividades usando esses elementos didáticos, que se podem se tornar uma base de aprendizagem. Na Figura 6 é apresentada a janela principal do *software* desenvolvido.

Não foi usada nenhuma metodologia padronizada para o desenvolvimento do *software*, mas internamente ele é dividido em módulos independentes (*functions*) que podem ser acrescentados de forma mais ou menos livre.

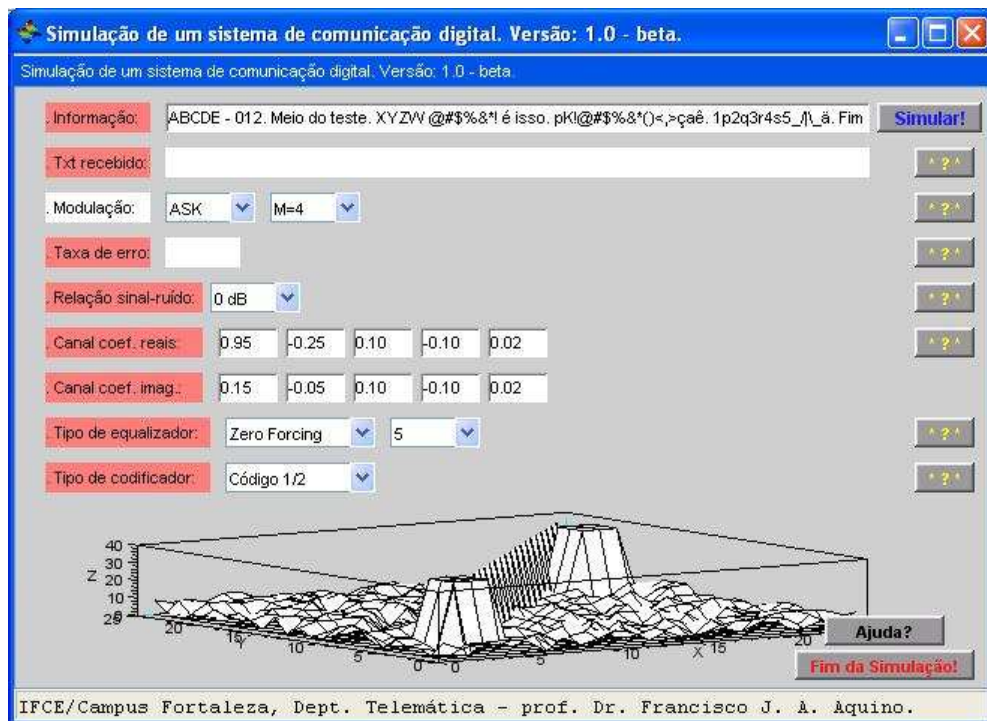


Figura 6: Janela principal do *software*

4.1 Características principais do software

O estudante pode interagir de diversas formas na janela principal do *software*, modificando a mensagem a ser transmitida, o tipo de modulação, o uso do equalizador, as características do canal, a relação sinal-ruído e o uso ou não do codificador de canal para a correção de erros. Em todos esses itens existe um botão extra que o estudante pode clicar para solicitar ajuda, como mostra a Figura 6.

Após todos os ajustes, o estudante pode clicar em “Simular!”, como isso o *software* executa várias ações internas: realiza a conversão em bits da mensagem a ser transmitida, inclui os bits de paridade (dependendo da opção escolhida pelo estudante), faz a modulação desses bits (PAM, QAM, BPSK, ...), e transmite pelo canal. No lado do receptor, é adicionado ruído. O equalizador recebe esse sinal corrompido e entrega ao decodificador de canal para a correção de erro usando um dos códigos de bloco escolhidos. Após esses passos, o sinal é novamente convertido em caracteres e mostrado na janela principal (“Txt. Recebido”). Também é calculada a taxa de erro. O esquema geral da simulação é mostrado na Figura 7. Para apresentar os demais resultados da simulação são geradas duas novas janelas que são descritas na próxima subseção.

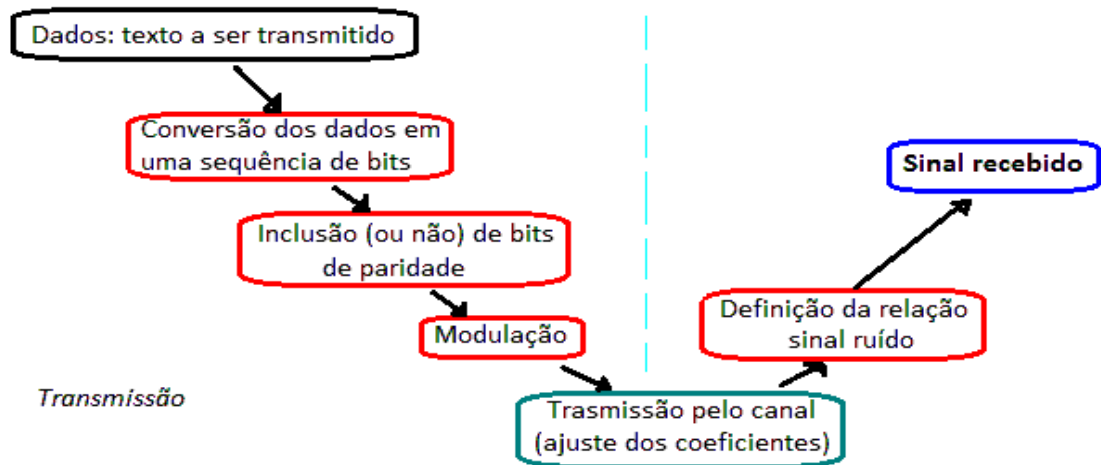


Figura 7: Esquema geral da simulação.

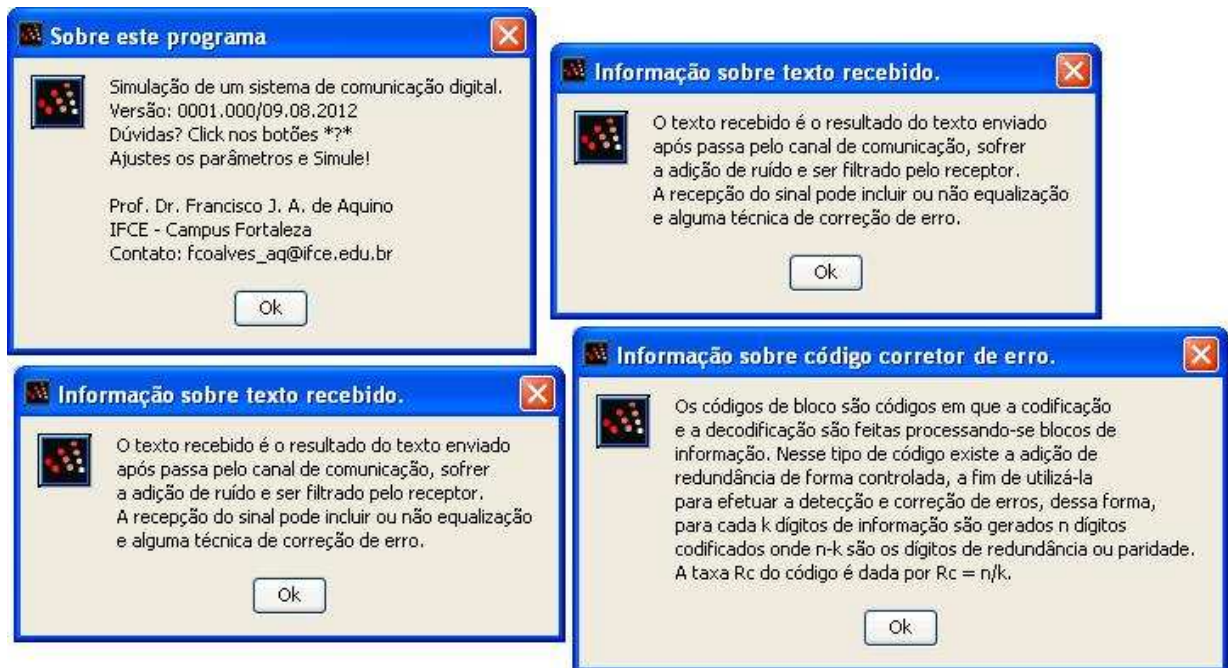
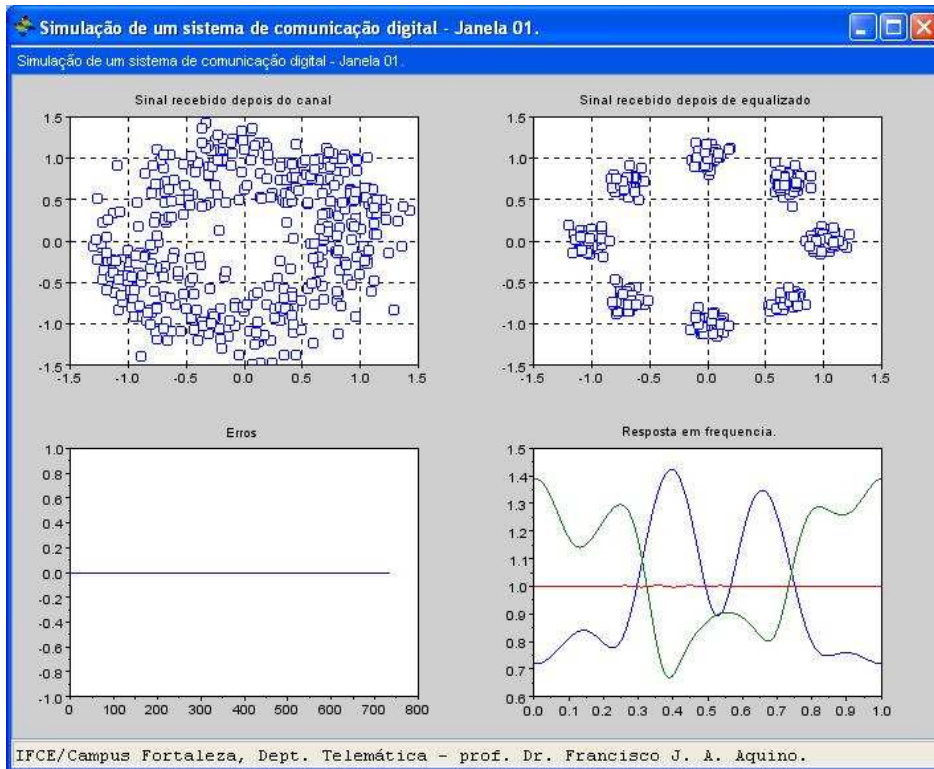


Figura 8: Exemplos de algumas das janelas de ajuda disponíveis na versão atual do *software*.

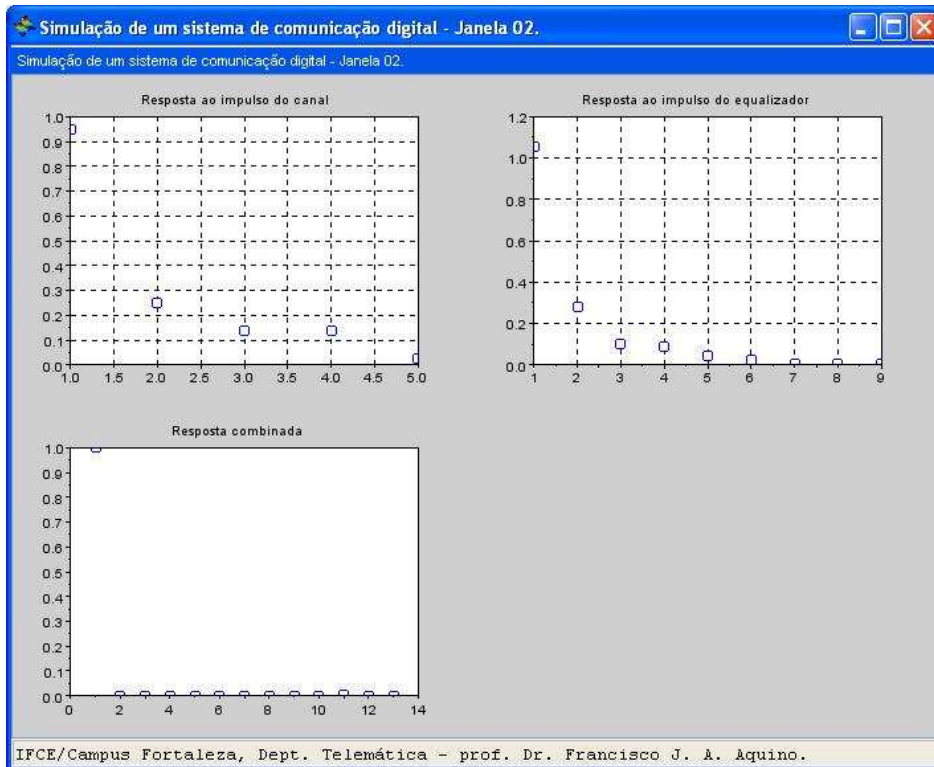
4.2 Exemplo de uso

Caso o estudante tenha alguma dúvida sobre uma função ele pode obter ajuda clicando no botão de ajuda correspondente, a Figura 8 mostra algumas dessas mensagens.

Para ilustrar o funcionamento geral do sistema desenvolvido será realizada a seguinte simulação: transmissão da mensagem de texto um por canal seletivo, relação sinal-ruído de 20 dB, modulação 8-PSK (*phase shift keying*) e uso do código de bloco com taxa 3/5. No receptor é usado um equalizador linear com 10 coeficientes. Após o estudante clicar em “Executar!”, é calculada a taxa de erro no sinal recebido, mostrada a mensagem decodificada e colocado em forma gráfica o comportamento do canal em frequência e a resposta combinada canal + equalizador, como mostra a Figuras 9. Para esta simulação específica, a taxa de erro observada é zero, mas se uns dos parâmetros forem alterados, a relação sinal-ruído, por exemplo, a taxa de erro pode deixar de ser nula.



(a)



(b)

Figura 9: Resultado da simulação (a) janela 01, (b) janela 02



4.3 Futuras implementações

Este *software* está em desenvolvimento e em fase de testes, mas diversas ideias podem ser apresentadas para incrementar o seu estágio atual:

- mostrar diagrama de olho antes e depois do canal de comunicação;
- módulos separados para apresentar conceitos isolados (exemplos: módulo para mostrar o efeito do ruído sobre o sinal modulado, módulo para códigos corretores de erros);
- inclusão de um canal variante e dos parâmetros de ajustes dessa variação;
- inclusão de mais de uma antena transmissora ou receptora (sistema MIMO);
- ampliar e aprofundar o conteúdo de ajuda ao estudante;
- laboratório virtual acessado via *web* com várias experiências preparadas (MAGYAR & ŽÁKOVÁ, 2010).

5. CONCLUSÕES

Neste artigo foi apresentado um *software* que simula um sistema de comunicação digital desenvolvido em Scilab. Esse software modela diversas características de um sistema de comunicação real, mas várias outras podem e serão acrescentadas. O objetivo principal é servir como uma ferramenta auxiliar para o professor em disciplinas que exigem um grande conhecimento teórico, como radio transmissão e sistemas de comunicação.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho conta com o apoio do IFCE na forma de uma bolsa de produtividade - Programa de Apoio à Produtividade em Pesquisa - ProAPP/IFCE, edição de 2012.

REFERÊNCIAS

CANO, J.W.R.; OSPINA, M.F.R. Scilab as a Tool to Increase Learning in Courses of Communication Systems. CONFERENCE ON ELECTRONICS, ROBOTICS AND AUTOMOTIVE MECHANICS - CERMA '08, Cuernavaca, Mexico. **Proceedings...** Cuernavaca: p. 201 - 205, outubro, 2008.

CARLSON, A. B. **Communication Systems: An Introduction to Signals and Noise in Electrical Communication.** McGraw-Hill International Editions, 3a. Edição, 1986.

GLAVELIS, T.; PLOSKAS, N.; SAMARAS, N. A computational evaluation of some free mathematical software for scientific computing. **Journal of Computational Science.** Elsevier Ltd., vol. 1, no. 3, p. 150-158, 2010.

GOLDSMITH, A. **Wireless Communications.** Cambridge University Press, 2005.

JANÍK, Z.; ŽÁKOVÁ K. Online design of Matlab/Simulink and SciLab/Xcos block schemes. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTERACTIVE COLLABORATIVE LEARNING (ICL), 2011, Piestany, Eslovaquia. **Proceedings...** Piestany: p. 241 - 247, setembro, 2011.

MAGYAR, Z.; ŽÁKOVÁ, K. Using SciLab for Building of Virtual Lab. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFORMATION TECHNOLOGY BASED HIGHER EDUCATION AND TRAINING (ITHET), 2010, Cappadocia, Turquia. **Proceedings...** Cappadocia: p. 280 - 283, maio, 2010.

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

RAPPAPORT, T.S. **Wireless Communication: Principles and Practice.** Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 1996.

SCILAB. Disponível em: <http://www.scilab.org/>. Acesso: 9 de agosto de 2012.