

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/314230637>

# Estudo sobre o Desempenho do Sistema OFDM em Canais AWGN e Dispersivo no Tempo.

Conference Paper · October 2011

CITATIONS

0

READS

8

4 authors, including:



**Maurício Moreira Neto**

Universidade Federal do Ceará

20 PUBLICATIONS 7 CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Oportunidades de Pesquisa na Avaliação da Qualidade de Ambientes de Internet das Coisas, Redes Definidas por Software e Virtualização de Funções de Rede [View project](#)



Oportunidades de Pesquisa sobre Qualidade de Software em Ambientes de Laboratórios Inteligentes [View project](#)

# XVII Encontro de Iniciação à Pesquisa

Universidade de Fortaleza  
17 a 21 de Outubro de 2011

## Estudo sobre o Desempenho do Sistema OFDM em Canais AWGN e Dispersivo no Tempo.

Maurício Moreira Neto<sup>1</sup> (IC), Antônio Macíllo Pereira de Lucena<sup>2</sup> (PQ), Daniel Costa Araújo<sup>3</sup> (IC), Igor Le Lonnés Brito da Silva<sup>4</sup> (IC)

1. Universidade de Fortaleza – PIBIC/CNPQ

2. Universidade de Fortaleza (UNIFOR) e Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)

3. Universidade Federal do Ceará – Mestrado em Engenharia de

Teleinformática 4. Universidade de Fortaleza – PAVIC/UNIFOR

maumneto@gmail.com

*Palavras-chave:* OFDM, Equalização, Multiportadora, Sistema de Comunicação.

### Resumo

Este trabalho apresenta um sistema OFDM que foi implementado em MATLAB® com o objetivo de estudar os efeitos do canal e da equalização no desempenho do sistema. Mostram-se os efeitos que o canal impõe no sinal transmitido e compara-se, em termos de taxa de erro de bits, um canal dispersivo no tempo não-equalizado com o mesmo canal equalizado e estes em relação ao canal AWGN. Detalha-se a implementação lógica do sistema OFDM completo com o transmissor, canal e o receptor. Os resultados da simulação computacional da taxa de erro de bits do sistema, em diferentes condições de canal e equalização, são apresentados e discutidos.

### Introdução

A modulação OFDM (do inglês, *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) utiliza multiportadoras para transmissão paralela de dados em canais de faixa larga. O fluxo de dados para a transmissão, a taxa de  $R$  bps, é dividido em  $M$  linhas de dados a taxa de  $R/M$  bps para modular  $M$  de portadoras ortogonais com superposição espectral [1,2]. Esta superposição espectral produz uma economia significativa de banda relativa à técnica FDM (do inglês, *Frequency Division Multiplexing*) tradicional e com isso obtêm-se uma economia de banda de aproximadamente cinquenta por cento [3].

Como o sistema OFDM tem um longo período de símbolos comparado aos sistemas de portadora única, ele é muito mais robusto para aplicações em canais seletivos em frequência. Outra vantagem do sistema OFDM é a possibilidade do uso de diferentes tipos de modulações nas portadoras como, por exemplo, o PSK, QPSK ou QAM, dependendo da relação sinal-ruído [1].

A técnica OFDM foi proposta inicialmente em 1968 e patenteado nos Estados Unidos em 1970. O primeiro estudo sobre a aplicação desta técnica em comunicações móveis e foi demonstrado em 1985 [3]. Atualmente, o sistema OFDM é recomendado na transmissão de dados do padrão LTE (do inglês, *Long Term Evolution*), que é uma provável implementação da quarta geração de telefonia celular móvel, em transmissões de redes sem fio dos padrões WiFi (IEEE 802.11) e Wimax (IEEE802.11a), bem como em sistemas ADSL (do inglês, *Asymmetric Digital Subscriber Line*) [3].

Este artigo tem como objetivo geral realizar um estudo comparativo da modulação OFDM em canal AWGN (do inglês, *Additive White Gaussian Noise*) e em canal dispersivo no tempo. Para tal, implementa-se um sistema OFDM completo em Matlab® e através de simulação computacional avalia-se o seu desempenho, em termos da taxa de erro de bits, para diferentes condições de canal e equalização.

## Metodologia

O diagrama de blocos do transmissor OFDM está representado na Figura 1. As informações a serem transmitidas estão representadas pela seqüência de símbolos QPSK (do inglês, *Quadrature Phase Shift Key*) denotada por  $\{a_p\}$ ,  $p \geq 0$  e  $p \in \mathbb{Z}$ . O primeiro bloco do transmissor converte a seqüência de entrada  $\{a_p\}$  de serial para paralelo [5]. Na saída do conversor, os símbolos QPSK da seqüência de entrada que foram paralelizados formam um conjunto de  $M$  subsímbolos  $X_{n,k}$ , em que  $n$  representa a  $n$ -ésima portadora a qual o símbolo está associado e  $k$  é a  $k$ -ésima coleção de  $M$  símbolos. Cada coleção dos subsímbolos  $X_{n,k}$  vai compor um símbolo OFDM a ser transmitido no instante  $k$  [5,3].

A cada instante  $k$ , os  $M$  subsímbolos  $X_{n,k}$  passam pelo bloco IFFT (do inglês, *Inverse Fast Fourier Transform*) que efetua a transformada inversa de Fourier conforme a Equação 1:

$$x_{n,k} = \frac{1}{M} \sum_{l=0}^{M-1} X_{l,k} e^{\frac{i2\pi nl}{M}}, \quad (1)$$

em que  $0 \leq l \leq M-1$ ,  $l \in \mathbb{Z}$

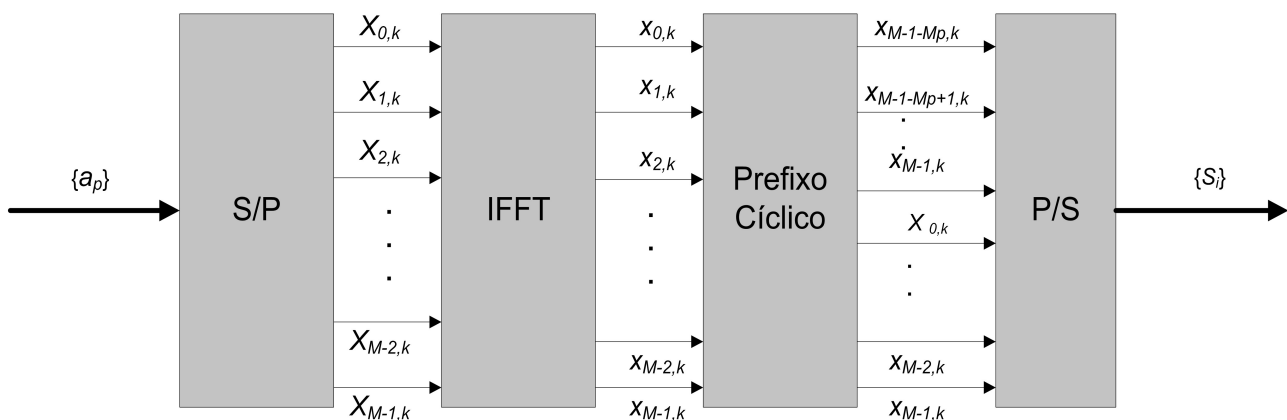


Figura 1. Diagrama de blocos do transmissor OFDM.

Depois da saída do bloco de IFFT, a cada instante  $k$ , as  $M$  amostras  $x_{l,k}$  passam pelo bloco Prefixo Cíclico, que copia as últimas  $Mp$ 's amostras da IFFT e as justapõe com as  $M$  amostras de saída da IFFT, formando assim o símbolo OFDM. Portanto, o conjunto de amostras que formam um símbolo OFDM é dado por  $x_{M-1-Lp,k}, x_{M-1-Mp+1,k}, \dots, x_{M-1,k}, x_{0,k}, \dots, x_{M-1,k}$ . É necessário que o tamanho do prefixo cíclico seja igual ou maior do que o tempo de espalhamento do canal para evitar a interferência intersimbólica [6].

As  $M+Mp$  amostras, que formam o símbolo OFDM a cada instante  $k$ , passam por um conversor paralelo-série originando a seqüência de sinais representada por  $\{s_i\}$ ,  $i \geq 0$  e  $i$ , que é transmitida pelo canal.

O sinal transmitido  $s_i$  passa por um canal dispersivo no tempo, modelado por um filtro de resposta impulsiva finita, indicado por  $h_i$ . Na entrada do receptor, é adicionado um ruído gaussiano branco representado por  $z_i$ . O sinal recebido, representado por  $y_i$  é o resultado da convolução do sinal transmitido  $s_i$  com a resposta impulsiva do canal  $h_i$ , adicionada ao ruído branco gaussiano  $z_i$ , conforme indicado pela Equação 2:

$$y_i = h_i * s_i + z_i. \quad (2)$$

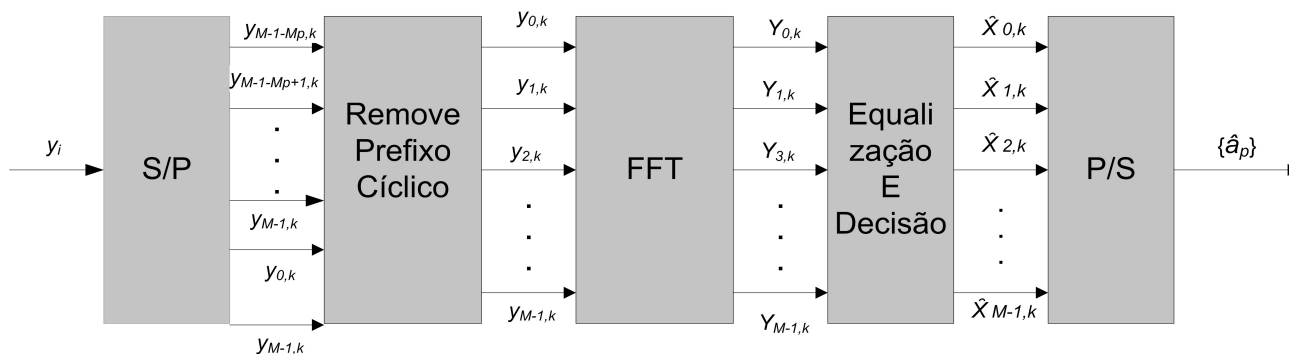


Figura 2. Diagrama de blocos do receptor OFDM

Os símbolos recebidos  $y_i$  passam por um bloco conversor serial-paralelo, em que na saída, a cada instante  $k$ , o conjunto de  $M+Mp$  amostras entra no bloco que removerá o prefixo cíclico, ou seja, as primeiras  $Mp$ 's amostras de cada símbolo OFDM são retiradas.

No bloco seguinte, é efetuada uma FFT (do inglês, *Fast Fourier Transform*), a cada instante  $k$ , nas  $M$  amostras restantes após a remoção do prefixo cíclico. O conjunto de amostras na saída do bloco FFT é expresso de acordo com a Equação 3:

$$Y_{n,k} = H_n X_{n,k} + Z_{n,k} \quad (3)$$

em que  $0 \leq n \leq M-1$ ,  $H_n$  é a resposta em frequência do canal correspondente a portadora  $n$ ,  $X_{n,k}$  é o subsímbolo transmitido e  $Z_{n,k}$  é o ruído gaussiano adicionado ao sinal.

As  $M$  amostras  $Y_{n,k}$  passam pelo bloco de equalização e decisão que utiliza a técnica de forçagem à zero para cancelar os efeitos do canal. O processo de equalização consiste na multiplicação do sinal  $Y_{n,k}$ , expresso pela Equação 3, pelo fator  $1 / H_n$  que resulta em  $X_{n,k} + Z_{n,k} / H_n$ . Nota-se que, a menos da parcela  $Z_{n,k} / H_n$ , os subsímbolos  $X_{n,k}$  transmitidos são os sinais resultantes após a equalização. Por fim, os sinais equalizados passam por circuitos decisores que geram uma estimativa dos  $M$  subsímbolos transmitidos no instante  $k$ , e representados na Figura 2 por  $\hat{X}_{n,k}$ . Conforme ilustrado na Figura 2, o último bloco do receptor, o conversor paralelo-serial, transforma os sinais  $\hat{X}_{n,k}$  decididos na seqüência  $\{\hat{a}_p\}$  que são as estimativas dos símbolos QPSK transmitidos.

## Resultados e Discussão

Utilizando o software de MATLAB®, foi implementado o transmissor e o receptor OFDM, apresentados nas Figuras 1 e 2, assim como, dois canais: um canal AWGN e o canal dispersivo no tempo, cuja sua resposta em frequência e fase são mostradas na Figura 3. Com isso o objetivo nesta sessão é avaliar que efeitos o canal impõe ao sistema OFDM e como mitigá-los, utilizando a técnica de equalização forçagem à zero. Em seguida, compara-se o desempenho do sistema em um canal AWGN.

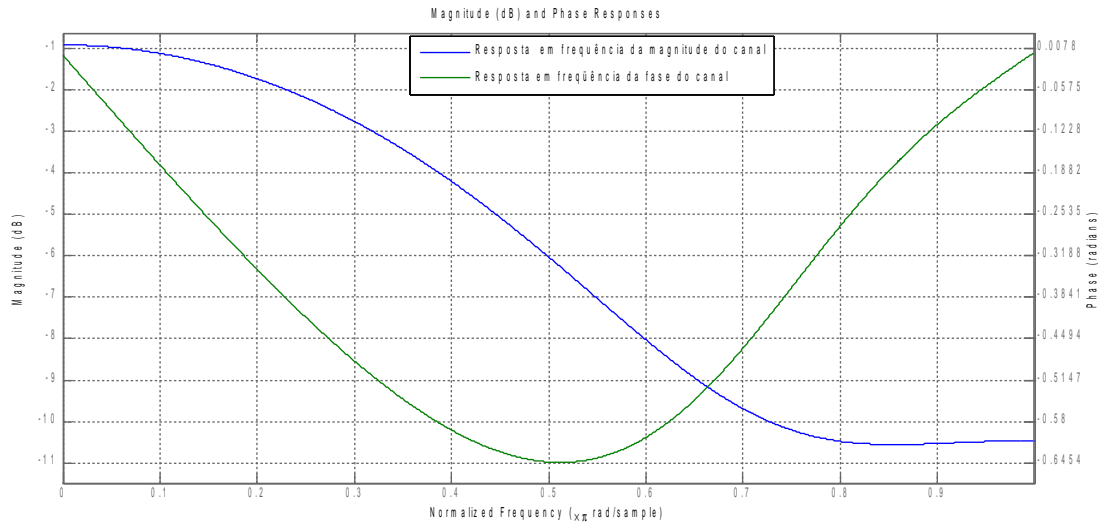


Figura 3. Resposta em frequência da magnitude (azul) e da fase (verde) do canal dispersivo.

No transmissor e no receptor, foram utilizados os algoritmos IFFT e FFT, respectivamente, de tamanho  $M = 8$  (igual ao número de portadoras) e o prefixo cíclico foi ajustado para um comprimento  $Mp = 3$  que é igual ao da resposta impulsiva do canal dispersivo no tempo expressa por  $\mathbf{h} = [0,1; 0,3; 0,5]$ . Para apresentação dos resultados, utiliza-se a ferramenta *scatterplot* do MATLAB® que permite analisar o efeito que a constelação de símbolos QPSK de cada portadora sofre devido ao canal.

A Figura 4 apresenta os *scatterplots* das constelações de subsímbolos recebidos associados às portadoras 1, 3, 5 e 7 quando o canal dispersivo no tempo é utilizado. Observa-se que cada uma das portadoras sofre rotações e atenuações distintas causados pela seletividade do canal. As Figuras 4.c e 4.d, que representam às portadoras 5 e 7, respectivamente, têm uma maior degradação em relação as portadoras 1 e 3 representadas pelas Figuras 4.a e 4.b, respectivamente. Nota-se pela Figura 3, que as portadoras posicionadas nas faixas de frequências maiores do que  $0,5\pi$  rad são submetidas a uma forte atenuação, o que explica a diminuição da relação sinal-ruído apresentada nas Figuras 4.c e 4.d.

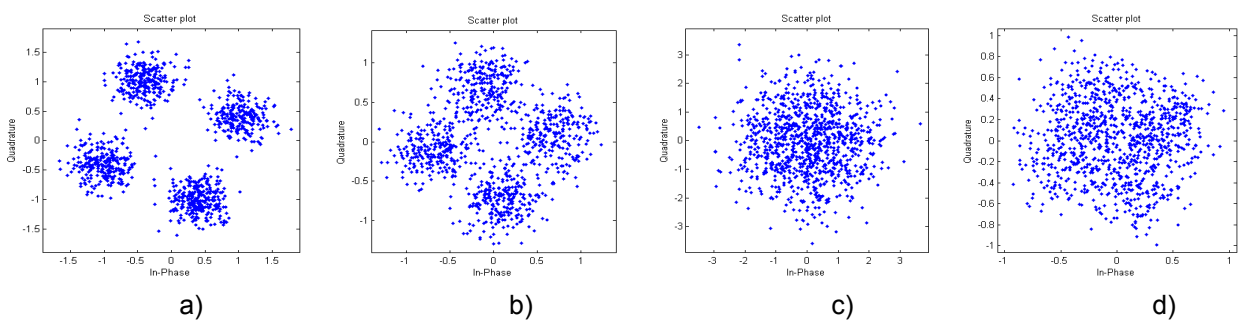


Figura 4. *Scatterplot*: (a) Portadora 1 com o canal dispersivo no tempo não-equalizado (b) Portadora 3 com o canal dispersivo no tempo não-equalizado (c) Portadora 5 com o canal dispersivo no tempo não-equalizado (d) Portadora 7 com o canal dispersivo no tempo não-equalizado

Na Figura 5, mostram-se as constelações de subsímbolos que são associadas às portadoras 1, 3, 5 e 7, após a equalização. Ao serem comparadas com a Figura 4, observa-se que houve uma correção de fase e amplitude nos subsímbolos equalizados, mas a relação sinal ruído permanece diferente em cada portadora. Nota-se pelas Figuras 5.a e 5.b que as portadoras 1 e 3 mantém uma boa relação sinal-ruído, enquanto as portadoras 5 e 7, representadas pelas figuras 5.c e 5.d, respectivamente, sofreram maior degradação.

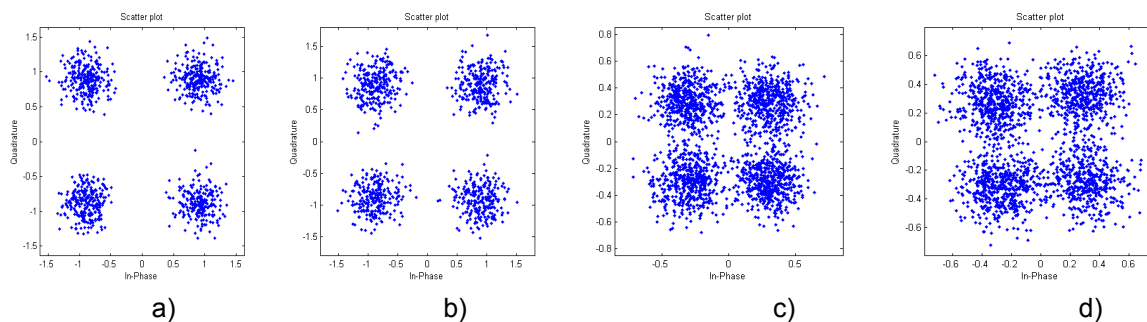


Figura 5. Scatterplot: (a) Portadora 1 equalizada (b) Portadora 3 equalizada (c) Portadora 5 equalizada (d) Portadora 7 equalizada

Na Figura 5, como já observado, apesar da equalização, algumas portadoras apresentam uma baixa relação sinal-ruído decorrente do aumento da potência do ruído. Na Equação 4, fica evidente que apesar da equalização cancelar os efeitos do canal, para as portadoras que estão localizadas em faixas de frequência em que  $H_n < 1$ , há uma amplificação do ruído. Este efeito provoca um aumentando na taxa de erro de bits nestas portadoras e diminui o desempenho global do sistema.

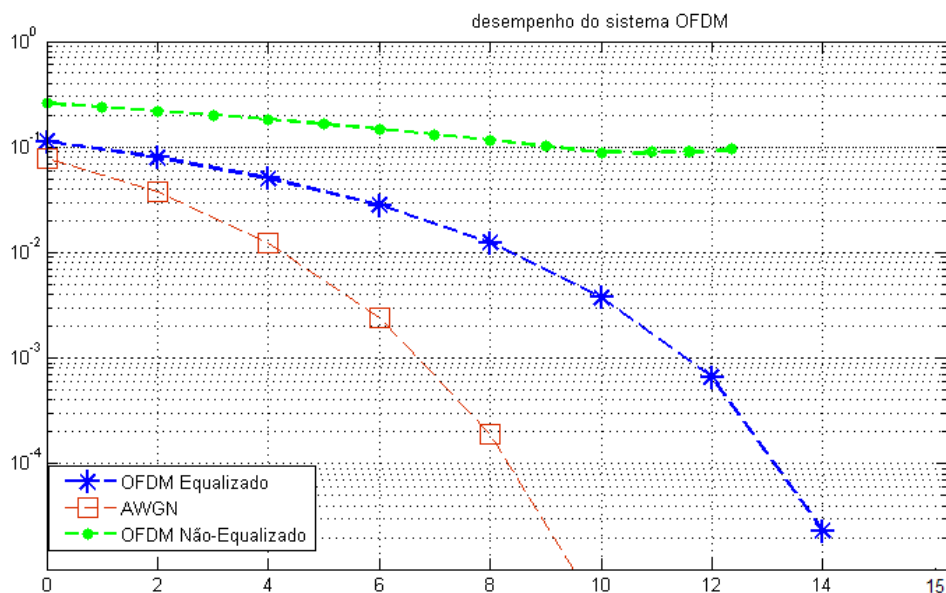


Figura 6. Gráfico do desempenho dos canais

Por fim, a Figura 6 apresenta o desempenho do sistema OFDM para o canal AWGN e para o canal dispersivo no tempo com e sem equalização no receptor. Nota-se, um melhor desempenho para o canal AWGN, pois este não possui seletividade em frequência, resultando em um desempenho igual para todas as portadoras. No entanto, para o canal seletivo em frequência o desempenho do sistema se reduz, já que tem-se uma taxa de erro de bits maior para aquelas portadora com maior atenuação, que provoca uma queda no desempenho global. E por fim, o pior desempenho foi com o receptor OFDM sem equalização, em que todas as portadoras sofreram com perda de potência e rotação de fase, sem que seja utilizada qualquer estratégia para mitigar estes efeitos.

## Conclusão

Neste trabalho, foi implementado o transmissor e o receptor OFDM em MATLAB® com objetivo de estudar o sistema para canal AWGN e para canal dispersivo no tempo. Para o canal dispersivo, foi analisada a eficácia de equalização forçagem à zero, implementada no receptor, como técnica para mitigar as distorções introduzidas pelo canal.

Através dos gráficos de *scatterplot*, ficou evidente os efeitos da seletividade em frequência do canal dispersivo no tempo e a importância da equalização para combater esses efeitos, melhorando o desempenho do sistema. Ao analisar a taxa de erro de bits global, foi constatado que a técnica de equalização realmente diminuiu a taxa de erro de bits, mas ainda sim, possui uma BER global maior se comparada com a BER do mesmo sistema em canais AWGN.

Pode-se concluir que apesar da técnica de equalização utilizada cancelar os efeitos do canal sob os símbolos transmitidos, houve um aumento da potência do ruído para as portadoras nas quais  $H_n < 1$ . Portanto, para estudos futuros, seria interessante investigar outras estratégias de equalização que corrigisse as distorções do sinal sem amplificar a potência de ruído.

## Referências

- [1] Louis Litwin, "An introduction to multi carrier modulation", *IEEE Potential*, Volume 19, no.20, April-May 2000.
- [2] PANDHARIPANDE, Ashish, "Principles of OFDM", *IEEE Potentials*, May 2002.
- [3] PINTO, Ernesto Leite ALBUQUERQUE, Claudio Penedo de, "A técnica de transmissão OFDM", *Revista Científica Periódica Telecomunicações – INATEL*, Vol. 5, N. 1, p. 1–10, Jun/2002.
- [4] E. Dahlman, S. Parkvall, J. Skold e P. Beming. **3G Evolution – HSPA and LTE for Mobile Broadband**, 2ª edição, ed. Academic Press, Julho 2007
- [5] ARAUJO, Daniel Costa, A. M. P. Lucena, "Implementação lógica de sistema OFDM com identificação e equalização de canal", Fortaleza: 16º Encontro de Iniciação À Pesquisa, 2010.
- [6] J. Proakis, **Digital Communications**. New York: McGraw-Hill, 3 ed., 1995.

## Agradecimentos

Agradecimento a Universidade de Fortaleza por ceder os laboratórios, softwares e salas de aula para o desenvolvimento e conclusão da nossa pesquisa.