

**Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto**



**FEUP**

**Transmissão de sinais rádio multiportadora  
digitalizados sobre fibra**

Pedro Miguel Pereira Farias Rodrigues

VERSÃO FINAL

Dissertação realizada no âmbito do  
Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores  
Major Telecomunicações

Orientador: Prof. Dr. Henrique Salgado  
Co-orientador: Dr. João Oliveira

Julho de 2013



# Resumo

O documento apresentado foi elaborado em contexto com a unidade curricular “Preparação da Dissertação” no ano 2012/2013 e vão ser apresentadas as primeiras abordagens ao tema proposto no âmbito da disciplina.

É feito um levantamento do estado da arte do tema proposto, caracterizado alguns dos problemas, apresentadas tecnologias e ferramentas a usar.

No fim, é apresentado um plano de trabalho para o desenvolvimento do projecto na unidade curricular “Dissertação”.



# Abstract

In the context of the course “Preparação da Dissertação” of the year 2012/2013, this document will present the initial approach to the dissertation.

It's done a literature survey, explained some of the problems, it is addressed some of the technologies and tools that will be used.

In the end it is created an activity plan with the tasks to be developed during the course “Dissertação”.



# Índice

<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>ESTADO DE ARTE .....</b>	<b>3</b>
2.1 RÁDIO SOBRE FIBRA.....	3
2.2 VANTAGENS DE RADIO SOBRE FIBRA .....	4
2.3 DESVANTAGENS DE RÁDIO SOBRE FIBRA.....	5
2.4 SISTEMAS ROF ANALÓGICOS .....	6
2.5 SISTEMAS ROF DIGITAIS .....	7
2.6 TRANSMISSÃO DE SINAIS OFDM SOBRE FIBRA .....	9
2.6.1 ABORDAGEM AO PAPR.....	10
2.6.2 REDUÇÃO DO PAPR.....	11
2.6.2.1 TÉCNICAS DE REDUÇÃO DO PAPR.....	13
2.6.2.1.1 <i>CLIPPING</i> .....	13
2.6.2.1.2 OPTIMIZAÇÃO DE FASE .....	13
2.6.2.1.3 <i>CODING</i> .....	13
2.6.2.1.4 <i>TONE RESERVATION</i> .....	13
2.6.2.1.5 ALTERAÇÃO POR CONSTELAÇÃO.....	14
2.6.2.1.6 PD POR SÍMBOLO .....	14
<b>CARACTERIZAÇÃO DOS PROBLEMAS A TRATAR .....</b>	<b>15</b>
<b>PLANEAMENTO .....</b>	<b>18</b>
4.1 PLANO DE TRABALHO.....	18
4.2 METODOLOGIAS E FERRAMENTAS DE TRABALHO.....	21
4.3 DESENVOLVIMENTO E CONCLUSÕES .....	21
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>22</b>

# Lista de figuras

- Figura 2.1 Diagrama de blocos de um sistema virtual MIMO simples, Fonte [3] .....4
- Figura 2.2 Atenuação por Comprimento de onda, Fonte[11].....5
- Figura 2.3 Diagrama de blocos de um sistema RoF Analógico, Fonte[10] .....6
- Figura 2.4 Gráfico BER v/s SNR de um sistema Analógico, Fonte[10] .....7
- Figura 2.5 Diagrama de blocos de um sistema RoF Digital,Fonte[10].....8
- Figura 2.6 Gráfico BER v/s SNR de um sistema Digital, Fonte[10] .....9
- Figura 2.7 Comparação do sistema digital para o analógico em termos de BER v/s SNR,  
Fonte[10] .....9
- Figura 2.8 Princípio de pré-distorção analógica, Fonte [12] ..... 12
- Figura 2.9 Princípio de pré-distorção de data, Fonte[12] ..... 12
- Figura 4.1 Planeamento: Diagrama de Gant..... 20



# Lista de abreviaturas e siglas

ACE	<i>Active Constellation Extension Method</i>
ADC	<i>Analogic to Digital Converter</i>
ARoF	<i>Analogue Radio Over Fiber</i>
BER	<i>Bit Error Rate</i>
BS	<i>Base Station</i>
CCDF	<i>Cumulative Distribution Function</i>
CP	<i>Cyclic Prefix</i>
CS	<i>Central Station</i>
CU	<i>Base Station</i>
DAC	<i>Digital to Analogic Converter</i>
DRoF	<i>Digital Radio over Fiber</i>
DWDM	<i>Dense Wavelength-division Multiplexing</i>
E/O	<i>Electrical-to-Optical</i>
EDFA	<i>Erbium Doped Fiber</i>
FPGA	<i>Field-Programmable Gate Array</i>
HPA	<i>High-Power Amplifier</i>
IFFT	<i>Inverse Fast Fourier Transform</i>
LANs	<i>Local Networks</i>
LTE	<i>Long Term Evolution</i>
LUT	<i>Look-up Table</i>
MIMOs	<i>Multiple-Input Multiple-Output</i>
MMSE	<i>Minimum Mean Square Error</i>
OFDM	<i>Orthogonal Frequency-Division Multiplexing</i>
OTDM	<i>Orthogonal Time Division Multiplexing</i>
PAPR	<i>Peak-to-Average Power Ratio</i>
PD	<i>Pre-Distortion</i>
RAUs	<i>Remote Antenna Units</i>
RF	<i>Radio Frequency</i>

<b>RIN</b>	<i>Relative Intensity Noise</i>
<b>RoF</b>	<i>Radio over Fiber</i>
<b>S/P</b>	<i>Parallel-Serial</i>
<b>SNR</b>	<i>Signal to Noise Ratio</i>
<b>WDM</b>	<i>Wavelength-division Multiplexing</i>
<b>WIMAX</b>	<i>Worldwide Interoperability for Microwave Access</i>

# Capítulo 1

## Introdução

Este documento foi elaborado de forma a apresentar o trabalho realizado durante a disciplina Preparação da Dissertação.

No segundo capítulo foi apresentado a investigação do levantamento do estado de arte do tema proposto por recurso a artigos e dissertações.

O terceiro capítulo introduz o tema da dissertação e os motivos pelos quais a sua realização é pertinente. É feita uma caracterização dos problemas a tratar por enquadramento, motivação, objectivos do projecto e estrutura do documento.

Finalmente no terceiro capítulo é exposto o plano do trabalho com recurso a um diagrama de Gantt, que apresenta as várias etapas a desenvolver e os seus tempos definidos. São também apresentadas as tecnologias e ferramentas que vão ser usadas durante o projecto.



# Capítulo 2

## Estado de Arte

Neste capítulo é realizada uma breve apresentação sobre Rádio sobre Fibra. São também apresentadas técnicas de pré-distorção associadas á tecnologia.

### 2.1 Rádio sobre fibra

Em rádio sobre fibra (RoF) a fibra é usada como suporte à transmissão de sinais de rádio-frequência, onde, a portadora ótica é modulada por uma portadora RF. Assim, sinais RF são enviados por fibra ótica a partir de uma estação central (CS) até uma ou várias estações emissores (BS) ou *Remote Antenna Units* (RAUs) onde são enviados os sinais que são recebidos por um ou mais receptores [3] [15].

Configurações *Multiple-Input Multiple-Output* (MIMO) para sistemas de comunicações sem fios são melhoradas através de RoF.

Na figura 1, podemos ver uma *Central Unit* (CU) que gera um sinal *Orthogonal Frequency-Division Multiplexing* (OFDM) que é enviado sobre fibra para um RAU recorrendo a técnicas de melhoramento do canal, as quais iremos falar mais no capítulo 2.6.

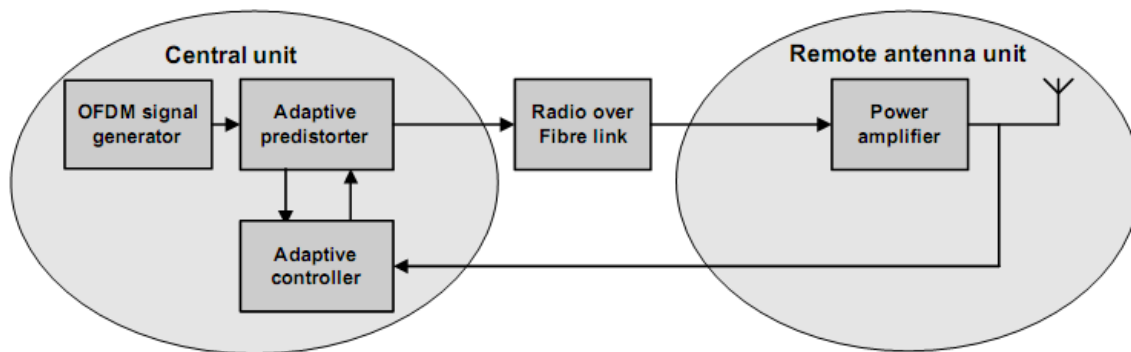


Figura 2.1 Diagrama de blocos de um sistema virtual MIMO simples, Fonte [3]

O uso sistemas MIMO é usado para ultrapassar algumas das limitações dos sistemas sem fios com aumentos de débito. Porém cria limitações também cria limitações nos sistemas já que tem requerimentos e necessidades de BS simples e pequenas (especialmente em terminais telefônicos) [3].

Em células pequenas (pico-células), interferências entre células e interferências provenientes de handovers limitam o aumento da capacidade. Em adição, sistemas OFDM são muito sensíveis a distorções não lineares. A instalação e manutenção destes sistemas podem ter custos demasiado elevados, no entanto, a tecnologia RoF é uma solução para o problema.

Sistemas virtuais MIMO (com o uso de RoF) permitem redução de custos, criação de BS simples, baixas atenuações, alta fiabilidade, grande largura de banda, tolerância a interferências e transparência [3].

Através de uma modelação uzanda em [3], é usado um modelo no linear para 1550-nm na modulação de um sistema RoF. O modelo matemático resultante é dado por:

$$y(n) = \sum_{k=1}^K \sum_{q=0}^Q a_{kp} * x(n-q) |x(n-q)|^{k-1} , \quad (2.1)$$

onde  $x$  é o sinal de entrada,  $y$  o sinal de saída,  $a_{kp}$  são os coeficientes do modelo,  $Q$  o tamanho da memória,  $K$  a ordem de não linearidade [3].

## 2.2 Vantagens de Radio sobre Fibra

Como visto no ponto anterior, a técnica de RoF permite uma operação centralizada diminuindo a complexidade e tamanho de um BS mantendo um baixo consumo de potência, transparência em relação a técnicas de modulação, suporte simultâneo de ligações standards com ou sem fios e redução dos custos de implementação de redes wireless ao permitir a sua interligação aos sistemas existentes usufruindo de técnicas de multiplexagem de comprimento de onda (WDM) [3].

Neste momento, sistemas baseados em fibras óticas têm a possibilidade de conter uma capacidade de grande largura de banda, sendo ainda possível aproveitar futuros desenvolvimentos na sua capacidade em fibras óticas de baixa dispersão, no uso de técnicas

de multiplexagem como OTDM e DWDM e em sistemas coerentes através presentes e futuros desenvolvimentos feitos nesta área [15].

A sua baixa atenuação alivia as limitações dos receptores óticos e previne o uso de excessivo de repetidores/amplificadores que acrescentavam mais interferências.

A propagação ocorre em três principais janelas situando-se nos 850 nm, 1310 nm e 1550 nm com atenuações de 3db/km a 850 nm usando uma fibras Multimodo e usando fibras monomodo 0,2-0,4 dB/km a 1310 e 0,15-0,3 dB/km tal como podemos observar na figura 2.2. Deste modo, podemos transmitir sinais em melhores condições que os antigos cabos coaxiais sobre distâncias superiores através de uma menor potência.

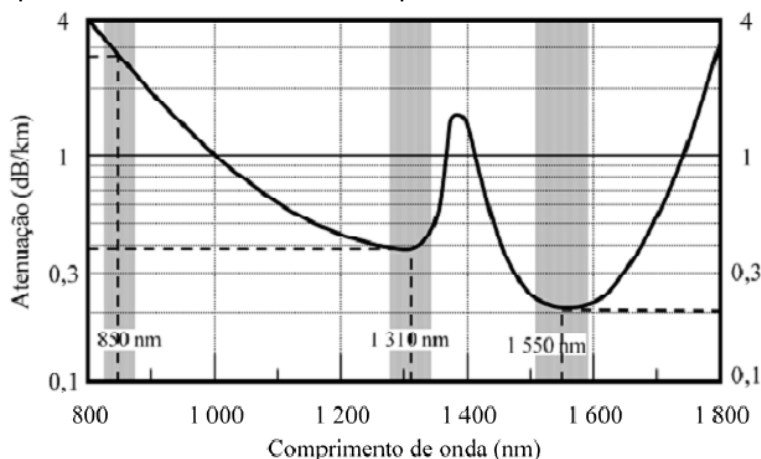


Figura 2.2 Atenuação por Comprimento de onda, Fonte[11]

Uma outra característica importante a indicar, é a imunidade a interferências de radiofrequência e a imunidade de escutas que leva a ligações mais seguras e de melhor privacidade [15].

### 2.3 Desvantagens de Rádio sobre Fibra

As principais formas de limitação de um sistema RoF são o ruído, atenuação e distorção que deriva de um sistema fundamentalmente analógico. Estes sinais analógicos sofrem não linear dos componentes óticos/micro-ondas e são afectados por ruído.

Sistemas que usam fibras MMF são limitados maioritariamente por dispersão modal, limitando a largura de banda e distâncias de transmissão, enquanto fibras SMF são limitadas pela distorção cromática e por dispersão de polarização.

Como vimos anteriormente na figura 2.2, por efeitos da atenuação a gama dinâmica de um sistema ótico decresce linearmente com a distância.

## 2.4 Sistemas RoF Analógicos

Numa configuração RoF para sistemas Analógicos, também conhecida como *Analogue Radio Over Fiber* (ARoF) o sinal RF é modulado por um sinal digital através de QAM, PSK ou OFDM. Distorção não linear pode ocorrer quando a fonte ótica é modulada directamente por um sinal RF por uso de um laser ou por modulação externa através de um Mach-Zehnder.

Na figura 2.3 podemos ver um diagrama de blocos simplificado de uma ligação ascendente e descendente.

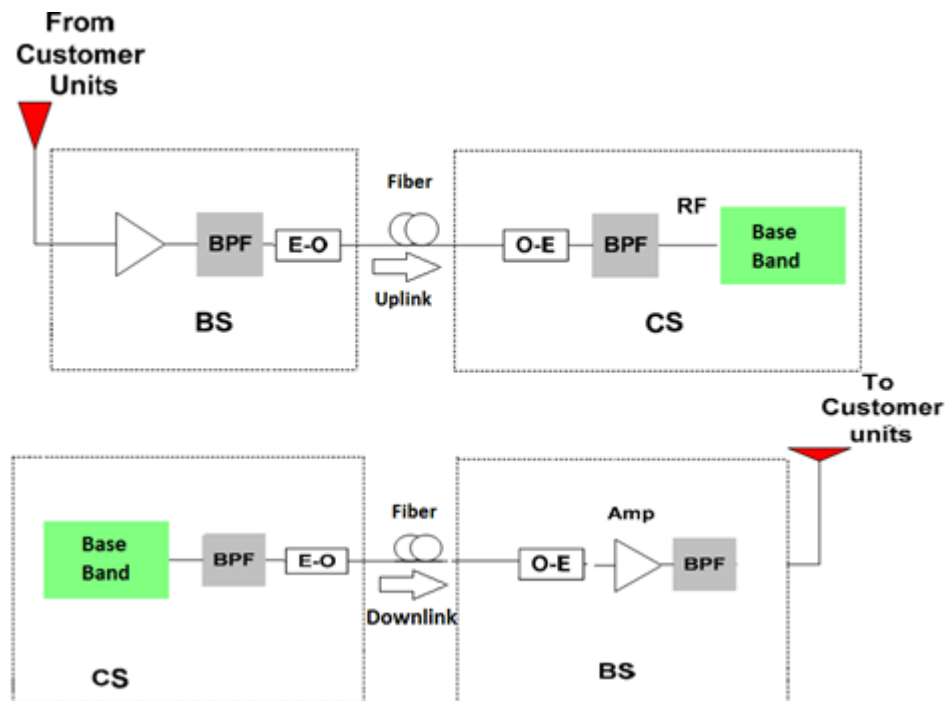


Figura 2.3 Diagrama de blocos de um sistema RoF Analógico, Fonte[10]

O sistema RoF Analógico em comparação com o Digital tem algumas desvantagens. O ARoF sofre de distorções de intermodulação que aparecem pela não linearidade dos componentes óticos e geradores de ondas, a gama dinâmica do sistema analógico diminui linearmente com o aumento da fibra devido a atenuações derivadas do ruído térmico de componentes activos, passivos e por elementos parasitas.

Na imagem 2.4 podemos ver a performance de um sistema analógico por comparação do BER pelo SNR por três diferentes modulações de um sistema implementado em Matlab.



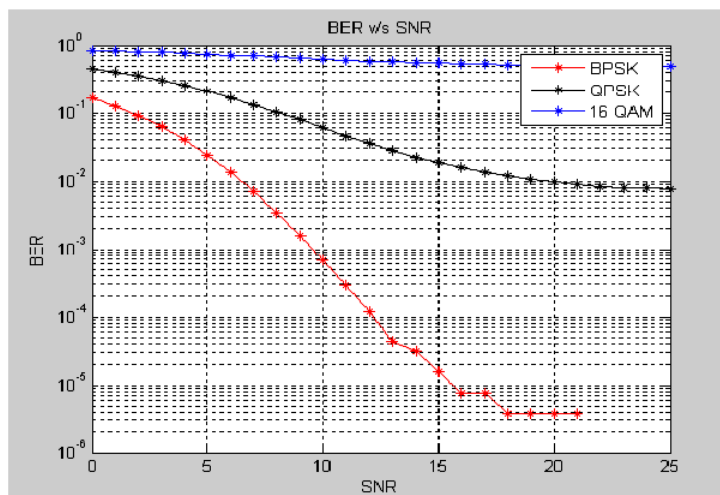


Figura 2.4 Gráfico BER v/s SNR de um sistema Analógico, Fonte[10]

## 2.5 Sistemas RoF Digitais

Desde o aparecimento do processamento digital de sinais que os sistemas modernos de comunicações tiveram um grande impulso devido às características provenientes dos sistemas digitais: maior fiabilidade, robustez contra ruídos, flexibilidade em arquitecturas de ligação com outros sistemas.

Algumas das vantagens dos sistemas RoF digitais face ao antigo analógico são que consegue-se reduzir custos na construção de BS, consegue-se manter uma gama dinâmica alta sobre grandes distâncias e imunidade a ruído [10][15].

A imagem 2.5 ilustra um diagrama de blocos de um sistema RoF digital baseado em técnicas de filtros Passa Banda.

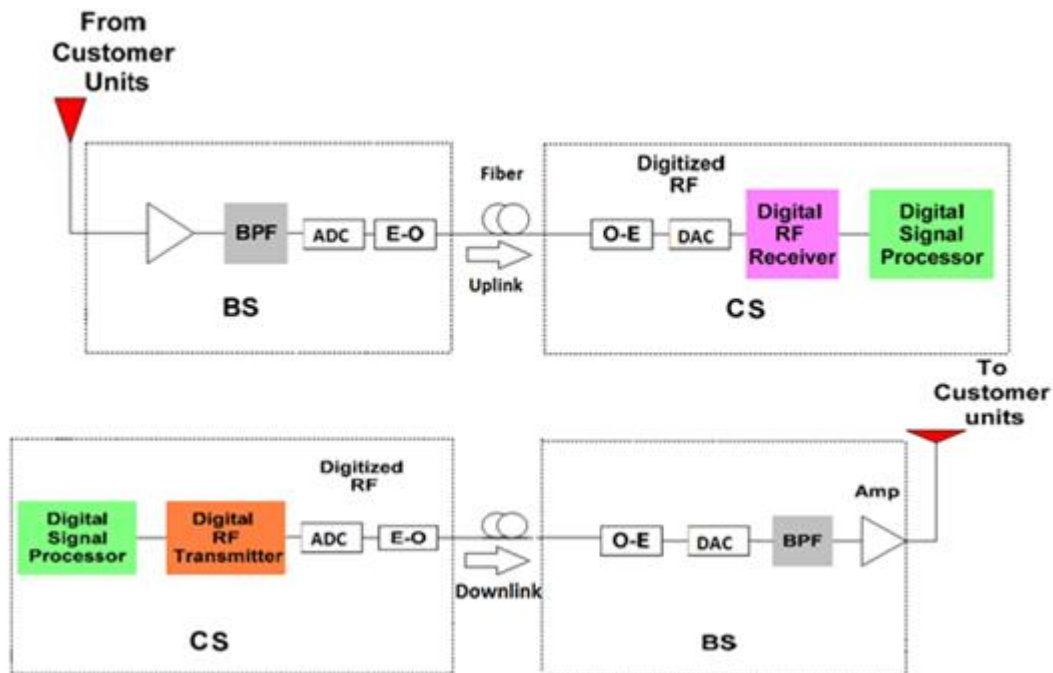


Figura 2.5 Diagrama de blocos de um sistema RoF Digital, Fonte [10]

A parte ascendente da transmissão inicia-se da BS para a CS. Considerando um sinal *wireless* RF recebido na BS este é quantificado por um ADC com o débito fundamentado no filtro passa banda. Após passar num detector de modulação de intensidade, o sinal digital vai ser detectado na CS e reconstruído usando um DAC e um filtro passa banda.

Na parte Descendente, o sinal do CS segue para o BS, onde o sinal digitalizado RF é enviado pela fibra ótica após ter sido convertido de sinais eléctricos para sinal ótico. É então recebido na BS onde vai ser convertido da sua forma ótica para eléctrica, passando pelo DAC e sendo depois filtrado e amplificado [10].

A imagem 2.6, mostra um gráfico do BER/SNR para a ligação Digital. Podemos observar que o sistema digital demonstra melhor desempenho para uma modulação 16 QAM em relação ao gráfico analógico da imagem 2.5.

Na imagem 2.7 observa-se uma comparação de um sistema digital para analógico em termos de BER v/s SNR para modulação 16 QAM. Para valores de SNR=25 o BER digital tem melhores resultados que o analógico e para outros valores o sistema analógico mostra degradação de desempenho face ao digital.

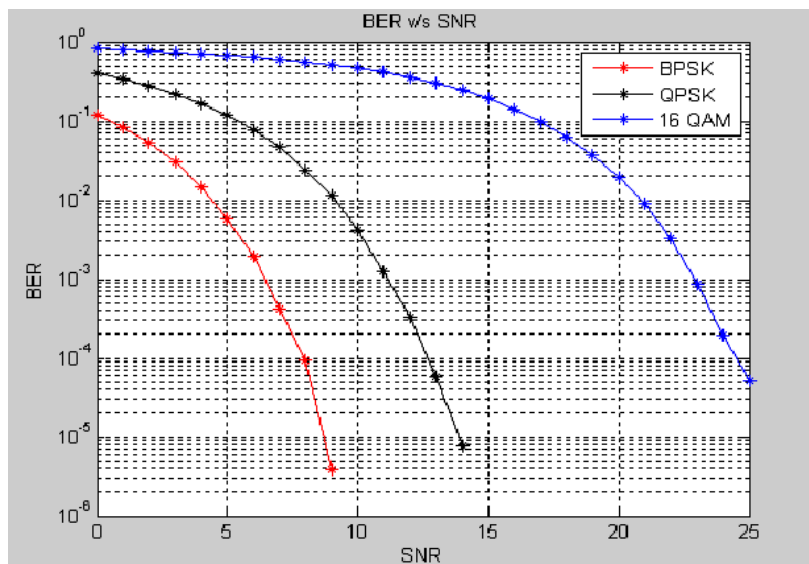


Figura 2.6 Gráfico BER v/s SNR de um sistema Digital, Fonte[10]

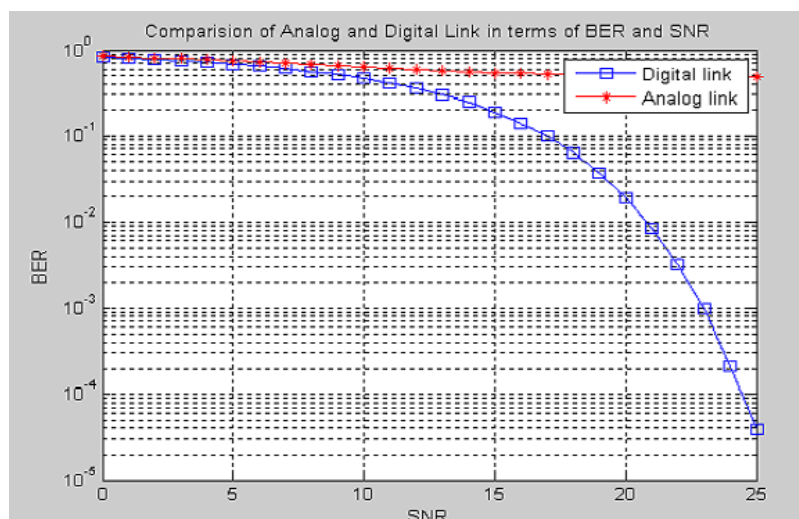


Figura 2.7 Comparação do sistema digital para o analógico em termos de BER v/s SNR, Fonte[10]

## 2.6 Transmissão de sinais OFDM sobre fibra

OFDM oferece vantagens de eficiência espectral, tolerância de dispersão, imunidade a *multi-path fading* e é fácil a equalização de canal tornando-se na principal forma de modulação para sistemas de comunicação sem fios de banda larga.

Esta tecnologia, é usada por várias aplicações sem fios: as especificações IEEE 802.11a/g/n para *wireless local networks* (LANs) são baseadas em OFDM (com acesso múltiplo por TDMA), wireless para regiões metropolitanas (IEEE 802.16d), 3GPP Long Term Evolution (LTE), *Worldwide Interoperability for Microwave Access* (WIMAX) e *personal network ultra-wideband* (UWB).

Um dos maiores problemas em OFDM que contrabalança com as suas vantagens é o *peak-to-average power ratio* (PAPR) do sinal que reduz significativamente a potência média na saída do amplificador de alta potência (HPA) usado na transmissão.

O aumento PAPR leva a uma alteração significativa no ponto de funcionamento de funcionamento do HPA que deixa de funcionar na sua banda de saturação óptima, o que leva a um uso bastante ineficiente da potência disponível. Adicionalmente, um alto PAPR vai levar ao aumento do número de bits dos conversores D/A para manter o mesmo nível de ruído de quantização. Este problema torna-se bastante importante devido aos baixos custos e necessidades de consumo nos terminais.

## 2.6.1 Abordagem ao PAPR

Numa transmissão OFDM, um sinal é a soma de N independentes símbolos QAM mapeados em N diferentes sub-canais com  $1/T$  de separação de frequência, onde, T é o período de símbolo de um OFDM.

As transmissões em tempo discreto  $b^i = (b_0^i, b_1^i, \dots, b_{N-1}^i)$  vão ser transmitidas e vão ser obtidas por um N-point *inverse Fast Fourier Transform* (IFFT) a partir dos blocos de símbolos complexos QAM  $a^i = (a_0^i, a_1^i, \dots, a_{N-1}^i)$ :

$$b_n^i = \left(\frac{1}{\sqrt{N}}\right) \sum_{m=0}^{N-1} a_m^i e^{j2\pi mn/N}, \quad (2.2)$$

onde  $a_m^i$  é o símbolo QAM enviado para a *subcarrier* m do símbolo i OFDM [8][11].

Para valores altos de N, as amostras  $b_m^i$  têm uma característica aproximada a uma distribuição gaussiana de média nula, já que são a soma de variáveis aleatórias independentes (símbolos QAM  $a_m^i$  no domínio das frequências). Desta forma, a maior parte das magnitudes vai ser pequena, mas existe uma pequena percentagem que vai ter uma amplitude demasiado alta. Este facto resulta no problema PAPR, do qual sistemas de multi-transportadoras sofrem bastante.

Matematicamente pode-se definir o PAPR de um OFDM digital com amostras  $b = (b_0, b_1, \dots, b_{N-1})$  definido por:

$$PAPR(b) = \frac{\|b\|_\infty^2}{E[\|b\|_2^2]/N}, \quad (2.3)$$

onde  $\|\cdot\|_p$  representa a norma Euclideana do vector. Uma equação analógica pode ser definida, e em prática é o PAPR de um sinal continua que é interessante analisar [8].

$$PAR = \frac{\max_{0 \leq t \leq T} |x(t)|^2}{E|x(t)|^2}, \quad (2.4)$$

Pode-se considerar uma boa aproximação de um sinal tempo contínuo PAPR através de um sinal PAPR digital de um sinal OFDM com um sample rate de  $L=4$  [5].

A maneira mais comum de avaliar o desempenho é investigar se a probabilidade PAPR do sinal for maior de um certo nível  $\gamma^2$ . Esta avaliação é obtida através da *Complementary Cumulative Distribution Function* (CCDF) de um PAPR(b) que representa uma variável aleatória [8]:

$$CCDF(PAPR(b)) = \Pr(PAPR(b) > \gamma^2), \quad (2.5)$$

As amostras que vão ser transmitidas passam por um conversor *parallel-serial* (S/P) seguido de um *cyclic prefix* (CP). O resultado das amostras do sinal vão ser filtradas e convertidas para frequência. O sinal RF é então enviado para o amplificador HPA com características não lineares [8].

## 2.6.2 Redução do PAPR

Redução PAPR em OFDM tem sido bastante investigado ao longo dos anos, com alguns artigos publicados nesta área, mas, apesar disso continua a ser um tema bastante importante devido às técnicas existentes serem ou demasiado complexas, de uso limitado ou terem desempenhos insatisfatórios.

As técnicas existentes podem ser distribuídas em dois grupos dependendo se estas distorcem o sinal de entrada. Assim, técnicas que distorcem o sinal, basicamente aplicam *clipping* durante o processo de codificação, outras técnicas como optimização de fase, optimização da constelação, injeção/reserva *tone e pre-distortion* (PD) de símbolo podem ser classificadas como técnicas que não distorcem o sinal [12].

As técnicas PD têm vindo a ser usadas em esquemas de transmissão de *single-carrier* que usam diferentes níveis de amplitude e modelação de fase, mas mais recentemente tem sido usados para redução do efeito de distorção não linear em sistemas OFDM. Podem ser identificadas dois tipos de PD: o primeiro chama-se *data pre-distortion* data, que são usados em métodos adaptativos. O segundo chama-se *analog pre-distortion*.

Os PD analógicos consistem em inserir num sinal RF antes do conversor E/O, que leva a uma pré-distorção não linear (sem memória no sinal). Esta vai compensar alguns efeitos não lineares das componentes que são introduzidos pelo conversor E/O [12].

Na figura abaixo está apresentado o procedimento de um PD analógico, que mostra a sua baixa complexidade de implementação e bons resultados segundo o artigo [12]:

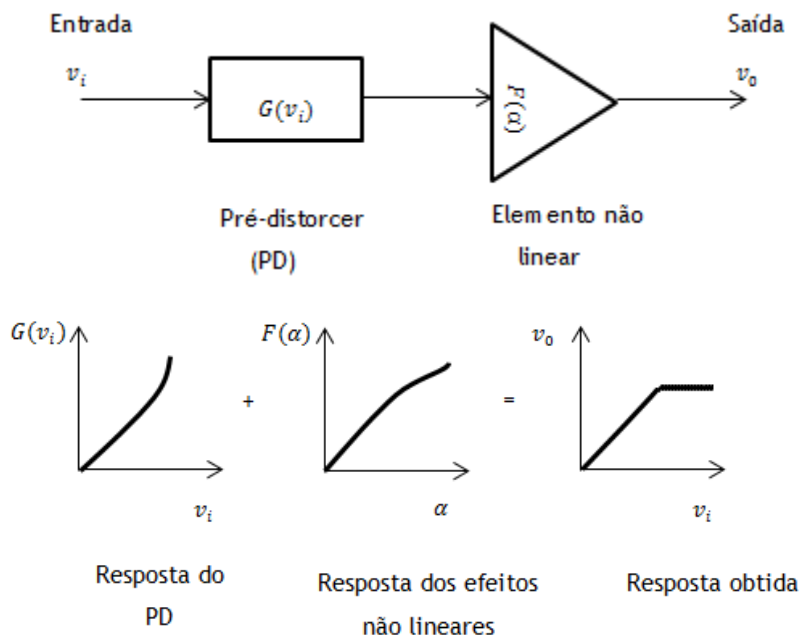


Figura 2.8 Princípio de pré-distorção analógica, Fonte [12]

Como se pode observar a ideia básica é usar um PD não linear de forma a obtermos uma saída linear.

Em baixo é dado outro exemplo, mas com um data PD baseado numa aproximação *minium mean square error* (MMSE) da entrada para PD e entre a saída do componente não linear [12].

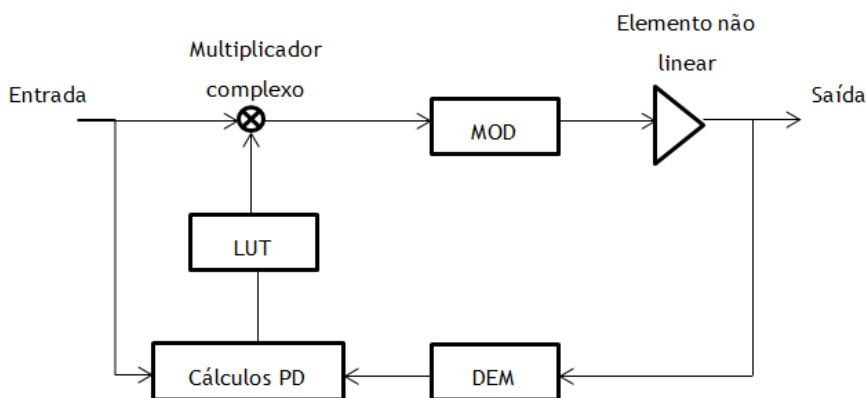


Figura 2.9 Princípio de pré-distorção de data, Fonte[12]

Na figura 2.9, os sinais da entrada vão ser multiplicados por coeficientes PD que vão ser guardados numa tabela (LUT). O sinal resultante vai ser então modulado e entrar no conversor E/O. Por realimentação, o feedback da distorção do conversor E/O vai ser usado para estimar as características de não linearidade através de algoritmos adaptativos de forma a tabela LUT ser adaptada em tempo real [12].

## 2.6.2.1 Técnicas de redução do PAPR

### 2.6.2.1.1 *Clipping*

A técnica mais simples e intuitiva que podemos encontrar é a técnica de *clipping* que tenta reduzir a amplitude PAPR por redução de valores a partir de um *threshold*.

*Clipping* é um processo não linear que pode originar distorção suficiente no desempenho do canal para aumentar o BER para valores indesejados. [8][11].

Normalmente esta técnica é usada em conjunto com outras como de forma a obter melhores resultados.

### 2.6.2.1.2 Optimização de fase

Como o principal factor de um alto PAPR é o alinhamento de fase dos símbolos na FFT que forma altos valores de ganho, o realinhamento de fase dos sinais de entrada pode reduzir os efeitos PAPR.

As técnicas recentes de optimização iterativas que se podem realçar são as estruturas Newman, Narahashi, Shapiro e Rudin e as sequencias Golay. Estas técnicas resultam num PAPR baixo com a troca de uma grande perda de débito no canal. Outras técnicas de optimização envolvem um largo número de cálculos ou técnicas de abordagem mais simplificadas com a desvantagem de precisarem sempre de uma transmissão viável de informação na parte do receptor, que nem sempre é possível ou desejável [8].

### 2.6.2.1.3 *Coding*

Estas técnicas comportam-se como estruturas de código de fase. As várias investigações feitas sobre esta técnica mostram que a redução PAPR é conseguida através de uma perda considerável de débito de informação. Como a codificação de canal existe para contrariar erros de transmissão, é aconselhado não codificar PAPR de forma a prevenir a redução agravada do débito de dados [8] [11].

### 2.6.2.1.4 *Tone Reservation*

Algumas das aplicações disponíveis não usam as *subcarriers* para transmissão de dados, o que permite o seu uso de outras formas.

Métodos por *Tone Reservation* são boas soluções para sistemas como ADSL, onde as altas frequências não são usadas para transmissão de dados, porém, esta técnica não é procurada em sistemas wireless já que todas as *subcarriers* são usadas nestes sistemas [8].

### 2.6.2.1.5 Alteração por constelação

Estas técnicas são relativamente recentes e usam técnicas de mapeamento complexo de N dimensões para redesenhar constelações *hyperspherical* e *hyperdiamond* respectivamente também de N dimensões [8].

Apesar de serem técnicas com resultados bastante atractivos para redução de PAPR, ainda são demasiados complexas para serem utilizadas em implementações de sistemas mais práticos.[9]

### 2.6.2.1.6 PD por símbolo

Neste tipo de técnica são usados novas constelações para símbolos ou é estendida a símbolos disponíveis sem reduzir a distância mínima entre eles. Uma das características desta técnica é ter a capacidade de ser totalmente transparente para o receptor.

Alguns métodos que usam esta técnica são o *tone injection* e *active constellation extension method* (ACE), os quais estendem a constelação QAM de tal forma que o PAPR é minimizado á saída da conversão Fourier (IFFT).

Os métodos anunciados acima conseguem ainda aumentar a amplitude média do sinal.



## Capítulo 3

# Caracterização dos Problemas a Tratar

Neste trabalho pretende-se estudar e implementar em laboratório a tecnologia radio sobre fibra digitalizada utilizando sinais OFDM sobre este sistema.

O transporte de sinais rádio suportados sobre fibra óptica é uma tecnologia promissora para simplificar a arquitectura das estações-base remotas, transferindo funções complexas para a estação central.

O transporte de múltiplos sinais analógicos sofre de distorção de intermodulação devido à não-linearidade dos componentes ópticos/micro-ondas, além de necessitar de uma largura de banda disponível maior que a frequência da portadora RF, e da gama dinâmica se degradar linearmente com a distância

Devido ao aumento da necessidade de altos débitos em sistemas e às características dos canais *wireless*, começaram-se a utilizar métodos espectrais de modulação eficientes como é o exemplo de sinais radio multiportadora (OFDM) que trazem vantagens face aos sinais mono-portadora.

Apesar das primeiras aplicações de sistemas de *modulação multi-portadora* aparecerem nos meados de 1950, só recentemente é que estas técnicas de transmissão começaram a ser uma alternativa para sistemas *single-carrier*.

Neste trabalho pretende-se estudar o desempenho de uma transmissão OFDM sobre a forma digitalizada e a sua transmissão sobre fibra.

O uso de rádio digital sobre fibra evita a utilização de componentes analógicos e possibilita a utilização de plataformas de *hardware* flexíveis e reconfiguráveis como FPGA. Esta técnica abre também a possibilidade de desenvolver redes *back-bone* de distribuição de sinais RF digitalizados, de forma integrada com as actuais/futuras redes ópticas digitais de alto débito.

No entanto, uma das principais desvantagens que contrabalança os factores positivos do uso de sinais OFDM sobre fibra é o seu elevado *peak-to-average-ratio*, levantando desafios ao nível do processo de digitalização.

Neste trabalho pretende-se estudar o desempenho de sinais OFDM usando tecnologia de rádio-sobre-fibra digitalizado (DRoF) e a sua implementação em laboratório.

Está também previsto desenvolver e implementar no sistema, algumas das técnicas de pré-distorção que foram tratadas no capítulo dois, de acordo com a tecnologia de transmissão que irá ser usada.

Será avaliado o desempenho destas técnicas bem como os limites de funcionamento do sistema, através da variação de parâmetros como a precisão de quantização, taxa de amostragem e número de sub-portadoras.

No final vai ser feito um estudo comparativo entre os valores dos resultados da simulação e os obtidos experimentalmente.

Com a evolução do projecto, é natural que outros objectivos mais específicos sejam introduzidos.



# Capítulo 4

## Planeamento

Neste Capitulo serão apresentadas as metodologias de trabalho e é feita uma calendarização com suporte num diagrama de Gantt para as várias etapas no projecto da unidade curricular “Dissertação”. Este plano de trabalho irá ser actualizado com o desenvolver do projecto.

### 4.1 Plano de Trabalho

Tarefa 1

Duração: 1 semana

23 de Setembro a 1 de Outubro de 2013

- Implementação em Matlab um sistema de transmissão usando sinais rádio OFDM;

Tarefa 2

Duração: 1 semana

2 de Outubro a 10 Outubro de 2013

- Implementação em Matlab o sistema DRoF, incluindo a técnica de subsampling e a modelização da quantização dos conversores;

## Tarefa 3

Duração: 7 semanas

11 Outubro a 8 de Novembro de 2013

- Estudo e simulação de técnicas de pré-distorção para a redução do PAPR e/ou de *clipping* do sinal que sejam adequadas a sistemas DRoF;

## Tarefa 4

Duração: 2 semanas

9 de Novembro a 27 de Novembro de 2013

- Implementação do sistema DRoF bem como as técnicas estudadas no ponto anterior, em laboratório, usando um laser do tipo VCSEL para a conversão electro-óptica;

## Tarefa 5

Duração: 3 semanas

28 de Novembro a 26 de Dezembro de 2013

- Avaliar o desempenho das técnicas bem como os limites de funcionamento do sistema implementado, variando parâmetros como a precisão de quantização, taxa de amostragem, número de subportadoras;

## Tarefa 6

27 de Dezembro a 6 Janeiro de 2014

Duração: 1 semana

- Efectuar um estudo comparativo usando os resultados de simulação e os obtidos experimentalmente;

## Tarefa 7

Duração: 3 semanas

7 de Janeiro a 4 de Fevereiro de 2014

- Escrita da tese.

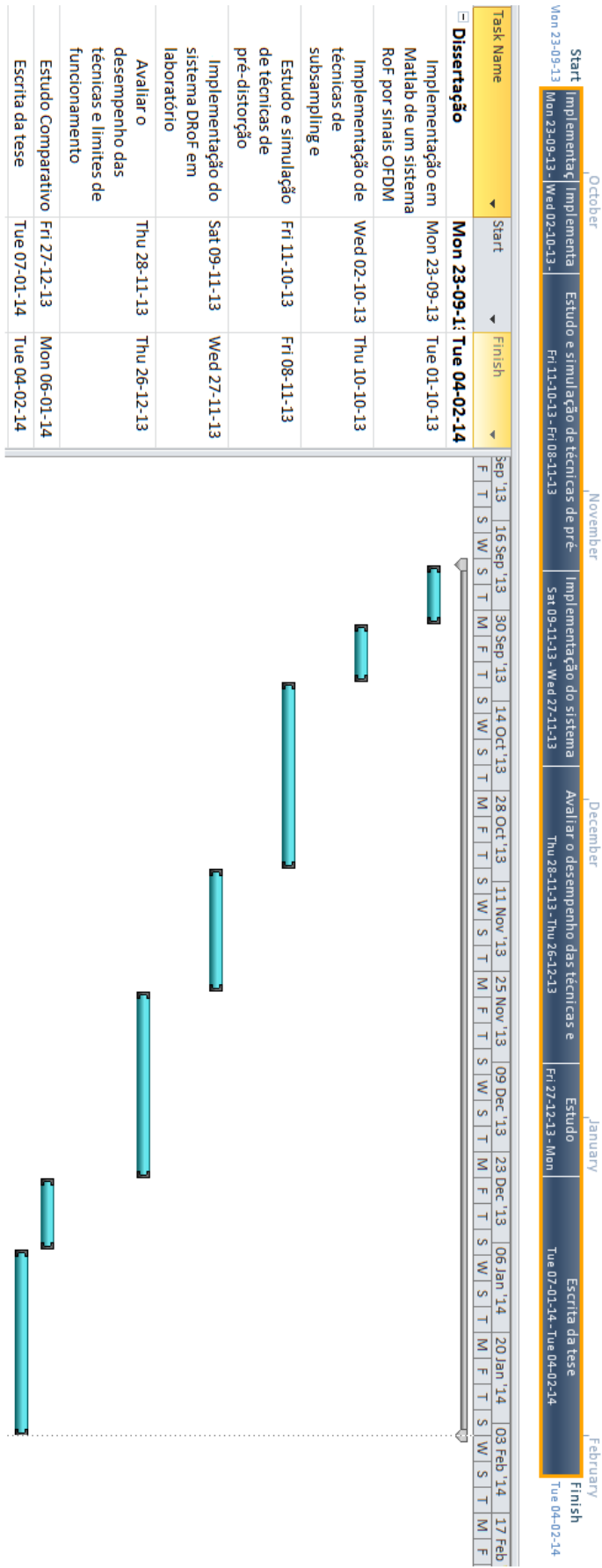


Figura 4.1 Planeamento: Diagrama de Gant

## 4.2 Metodologias e Ferramentas de Trabalho

Durante a dissertação serão utilizadas diversas tecnologias e ferramentas de forma a desenvolver e suportar o tema abordado na sua implementação e estudo. É de mencionar o uso específico de Lasers do tipo VCSEL para conversão electro-ótica.

Para edição e processamento do texto pode ser utilizado ferramentas como o Latex ou Microsoft Word e edição digital o Wordpress o qual poderá ser usado para criação do site a detalhar o projecto.

Ferramenta de cálculo está previsto utilizar o Matlab que permitirá simular circuitos e sistemas envolvidos no projecto.

## 4.3 Desenvolvimento e Conclusões

Vai ser criado uma página web onde pode ser acompanhada a evolução do trabalho desenvolvido através de relatórios semanais e dos documentos produzidos. Nesta página vai constar o planeamento e desenvolvimento das várias tarefas propostas, referências, meios utilizados e contactos das pessoas envolvidas neste trabalho.

No final deste projecto são esperados resultados de simulação aproximados aos experimentais sobre as técnicas de pré-distorção utilizadas, conseguindo distinguir destas a melhor técnica para uma redução de PAPR e espera-se melhor compreensão e entendimento destas tecnologias.

# Referências

1. Ciochina, C., F. Buda, and H. Sari. *An analysis of OFDM peak power reduction techniques for WiMAX systems*. 2006.
2. Gamage, P.A., et al., *Design and analysis of digitized RF-over-fiber links*. Journal of Lightwave Technology, 2009. **27**(12): p. 2052-2061.
3. Hekkala, A., et al. *Predistortion study of radio over fibre link*. 2010.
4. Lim, C., et al. *Radio-over-fiber systems*. 2009. Shanghai.
5. Malkin, M., B. Krongold, and J.M. Cioffi. *Optimal constellation distortion for PAR reduction in OFDM systems*. 2008. Poznan.
6. Vieira, L.C., N.J. Gomes, and A. Nkansah. *An experimental study on digital predistortion for radio-over-fiber links*. 2011.
7. Yang, Y., C. Lim, and A. Nirmalathas. *Digitized RF-over-fiber technique as an efficient solution for wideband wireless OFDM delivery*. 2012.
8. Serdar Sezginer, Hikmet Sari, *An Overview of Symbol Predistortion Techniques for PAPR Reduction in OFDMA Systems*, 2010
9. Raghavendra S. Prabhu, Eugene Grayver. *Active Constellation Modification Techniques for OFDM PAR Reduction*. 2009
10. Beenra, R. B., Shikham, N., *Performance Comparison of Analog and Digital Radio Over Fiber Link*, 2012
11. Jianping W., Ying G., Xieanwei Z., *PTS-Clipping Method to Reduce the PAPR in ROF-OFDM System*, 2009
12. Salgado, H.M, Oliveira J., Lima N., *Modelling Optical/RF impairments in Ultra-Wideband Radio over Fiber*, 2013: INESC Porto.
13. Mário Jorge Leitão, *Apontamentos da Unidade Curricular Sistemas e Telecomunicações*, 2013: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
14. Salgado, H.M, *Apontamentos da Unidade Curricular Comunicações Óticas*, 2013: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
15. Joana dos Santos Tavares, *Rádio Digitalizado sobre Fibra*, Porto 2012.
16. Gouba O. A., Loutet Y., *Predistorcion Performance considering Peak to Average Power Ratio Reduction in OFDM context*, 2012
17. Berger C. R, *Optimum Clipping for Optical OFDM with Limited Resolution DAC/ADC*, 2011