

# Análises de Impulsos em Antenas UWB

Benedito Sá de Araújo Filho, Marcelo Perotoni e Cynthia Junqueira

IAE-Instituto de Aeronáutica e Espaço  
CST-Computer Simulation Technology

**Resumo** - A tecnologia de banda ultra larga (UWB) aparenta ser uma das mais promissoras soluções para o futuro dos sistemas de comunicações. Neste cenário, as antenas UWB têm um papel como o de um filtro passa-banda e devem ser projetadas de modo a evitar distorções mantendo as características de banda larga, diagramas de irradiação direcionais ou omnidirecionais, ganho constante, eficiência de irradiação entre outras. Neste trabalho apresenta-se uma revisão dos conceitos da tecnologia UWB, aplicação, verificação e análises de desempenho de uma antena de impulso do tipo monopolo-disco modificado utilizando simulações eletromagnéticas via o software CST Microwave Studio.

**Palavras-chaves** – banda ultra larga, UWB, antenas de impulso.

## I. INTRODUÇÃO

Muitos esforços tem sido realizados nos programas de pesquisa em sistemas de comunicação em banda ultra larga (UWB) nos últimos 15 anos e significantes progressos são observados em relação à tecnologia de fontes e antenas [1]. Antenas de impulso têm grande potencial de aplicação e são membros de uma classe de antenas que são projetadas para a irradiação de pulsos eletromagnéticos de banda ultra larga.

Basicamente, sistemas UWB transmitem e recebem pulsos eletromagnéticos ultra curtos, e usam sinais de ultra banda larga com transmissões de potência muito baixa. Esta propriedade aumenta a dificuldade para detecção e interceptação, razão pela qual esta tecnologia vem sendo investigada para aplicações militares a muitos anos. O final da guerra fria abriu esta tecnologia para aplicações civis e em 2002 a Comissão de Comunicação Federal dos USA (FCC) especificou vários padrões técnicos e restrições para três tipos de sistemas UWB, a saber: radar veicular, comunicação e imagem [2].

No setor de aplicações militares, a interferência em circuitos eletrônicos, computadores, cabos elétricos, sistemas de transmissão e de recepção de telecomunicações aliado à segurança de áreas de defesa traz a necessidade do estudo e desenvolvimento de sistemas fonte-antena que possam transmitir pulsos eletromagnéticos de maneira intencional e causar danos suficientes para que componentes ou equipamentos se tornem inoperantes.

Neste artigo, propõem-se uma revisão sobre os fundamentos da tecnologia UWB e a verificação do desempenho de uma antena de impulso monopolo-disco modificado. Dois tipos de pulso serão considerados, um Gaussiano e outro arbitrário, sendo que todas as investigações serão baseadas em simulações realizadas utilizando o software de simulação eletromagnética 3D, CST Microwave Studio [3].

Benedito Sá de Araújo Filho, benedito@iae.cta.br, Tel. 55-12-3947-4729,  
Marcelo Perotoni, marcelo.perotoni@cst.com, Tel. 55-11-8297-4394  
Cynthia Junqueira, cynthia@iae.cta.br, Tel 55-12-3947-4937,  
Este trabalho foi financiado pelo COMAER, através do Projeto Thor.

## II. FUNDAMENTOS DA TECNOLOGIA UWB

Um sistema de transmissão UWB funciona enviando milhões de pulsos por segundo através de um espectro de frequência muito extenso, com uma largura de banda de diversos GHz.

O receptor, por sua vez, recebe os pulsos, em certa seqüência de dados emitida pelo transmissor.

A banda ultra larga (UWB) é definida como uma tecnologia de rádio que possui um espectro que ocupa uma largura de banda maior do que 20% da frequência central, ou uma largura de banda de pelo menos 500 MHz para uma frequência central de 1 GHz ou uma transmissão com uma largura de banda de 1,4 GHz na frequência central de 5 GHz. Estes exemplos diferem das tecnologias de banda estreita, onde a largura de banda é tipicamente menor ou igual a 5% em relação à frequência central. Um exemplo utilizando banda estreita é uma banda de 120 MHz com uma frequência central de 2,4 GHz.

### A. Largura de Banda Fracional

A definição do UWB está diretamente relacionada com a densidade de energia espectral de um sinal, isto é, sua largura de banda fracional, calculada em um momento instantâneo do impulso (ou trem de pulsos) de um sinal transmitido.

Para um sinal eletromagnético com energia  $E$  define-se um limite para a densidade de energia entre dois pontos de máximo e mínimo, ou seja, duas frequências adotadas que representam um limite máximo e um limite mínimo deste sinal, onde se concentra 90% da energia do sinal transmitido. Vale lembrar que o sinal é composto por impulsos de rádio que representam a quantidade de bits enviados, ou somente um impulso para representar um único bit lógico. Denominando os limites superior e inferior de  $F_h$  (frequência máxima) e  $F_l$  (frequência mínima), a frequência central do sinal  $F_c$  será:

$$F_c = \frac{(F_h - F_l)}{2} \quad (1)$$

A correspondente largura de banda do sinal será:

$$BW = (F_h - F_l) \quad (2)$$

Como este impulso tem uma característica semelhante ao modelamento de um Dirac (com área do impulso igual à energia de valor unitário), a densidade de energia espectral ESD será:

$$ESD = 1 \times BW \Rightarrow \frac{dE}{dHz} = (F_h - F_l) \quad (3)$$

Chama-se a também a esta diferença de energia de largura de banda. Desta forma, a largura de banda fracional (FB) será a razão entre a densidade de energia espectral e a frequência central:

$$FB = \frac{ESD}{F_c} = \frac{(Fh - Fl)}{\left(\frac{(Fh - Fl)}{2}\right)} \quad (4)$$

O fator chave de decisão de um sistema UWB está na escolha da sua frequência central, pois é a partir dela que se torna possível determinar qual será a largura de banda mínima, ou melhor, a densidade de energia espectral desse sistema. Desta forma, conclui-se que existe um forte compromisso entre estes dois fatores, pois se for necessário aumentar a largura de banda, não há a necessidade de alterar a frequência central, e se for necessário aumentar a frequência central, torna-se necessário aumentar a largura de banda. O fator largura de banda fracional (FB) deverá ser mantido maior ou igual a 20%.

## B. Formato do Impulso

### 1) Impulso Gaussiano

A forma típica de um pulso UWB é mostrada na figura 1. Este tipo de pulso é utilizado nos sistemas UWB, pois é facilmente gerado.

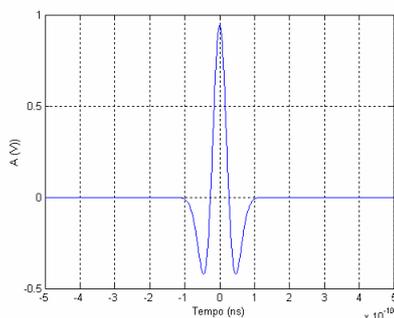


Fig. 1. Impulso Gaussiano.

O espectro de frequências da equação Gaussiana, representada na fig.1 é mostrado na figura 2 onde pode ser observado a frequência central de aproximadamente 0,82 GHz.

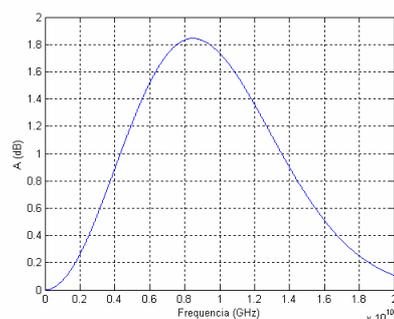


Fig. 2. Espectro de Frequência.

A figura 3 mostra um modelo de geração de pulsos UWB, que contém o pulso retangular original, a criação do pulso Gaussiano no transmissor, os efeitos da antena e a recepção.

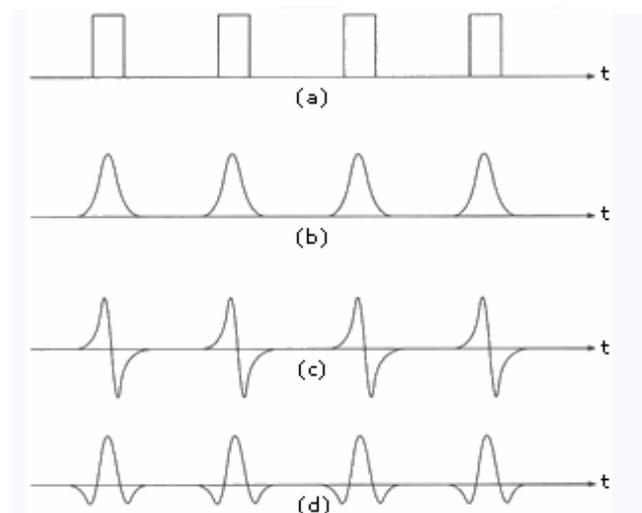


Fig.3. (a) Trem de pulsos original (b) Pulsos Gaussianos. (c) Primeira derivada (d) Pulsos recebidos [4].

Inicia-se a transmissão com um pulso retangular cuja duração é tipicamente da ordem de picosegundos ou nanosegundos. O chaveamento rápido de ligado para desligado faz com que a forma do pulso não seja quadrada, e sim com as bordas suavizadas como pode ser visto na figura 3b.

A forma do pulso aproxima-se de uma curva de função Gaussiana  $w(t)$ , que é apresentada em (5) [5].

$$w(t) = \sqrt{E_p} \frac{2,1245}{\sqrt{\tau}} \exp(-32(\frac{t-T_c}{\tau})^2) \quad (5)$$

onde  $E_p$  é a energia do pulso em Joules,  $\tau$  é a largura do pulso em segundos,  $T_c$  é o deslocamento temporal do pulso em segundos e  $t$  é o tempo em segundos.

A transmissão dos pulsos diretamente para uma antena tem como resultado uma filtragem destes pulsos devido às propriedades das antenas. Esta operação de filtragem pode ser modelada como uma derivada conforme figura 3c, sendo que o mesmo efeito ocorre na antena de recepção e é visualizado na figura 3d.

A forma do pulso recebido pode ser escrita conforme (6) [6].

$$y(t, \tau) = \frac{1}{\tau} \exp(-0,5(\frac{t}{\tau})^2) - \frac{t^2}{\tau^3} \exp(-0,5(\frac{t}{\tau})^2) \quad (6)$$

onde  $t$  é o tempo em segundos,  $\tau$  é a largura de pulso. O espectro de frequências do impulso Gaussiano, que é a transformada de Fourier em (6) representada na Figura 2 é descrita em (7).

$$Y(f, \tau) = (2\pi)^{5/2} \tau^2 \exp(-\frac{(2\pi f)^2}{2}) \quad (7)$$

## 2) Impulso Arbitrário

Uma análise semelhante pode ser realizada aplicando-se um impulso arbitrário, por exemplo, uma onda oscilatória amortecida conforme apresentada em (8) cuja forma de onda é apresentada na figura 4.

$$x(t) = e^{-2t} t \cos\left(t + \frac{\pi}{4}\right) \quad (8)$$

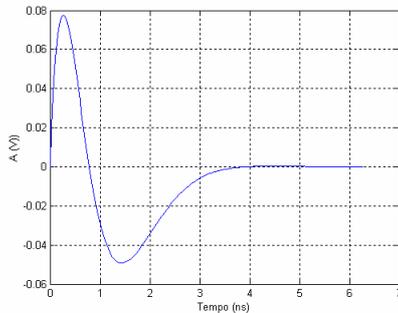


Fig.4. Oscilatória amortecida

O sinal representado por (8) é semelhante a um impulso monocíclico, desta forma, espera-se que quando for aplicado a uma antena presente na saída uma resposta semelhante ao resultado da primeira derivada de um impulso gaussiano. Faz-se necessária uma análise mais detalhada do comportamento deste impulso quando aplicado a uma antena, métodos numéricos podem auxiliar nesta tarefa e na seção IV serão apresentados os resultados de simulações realizadas com o apoio do software CST MICROWAVE STUDIO [3].

## III. ANTENA DE IMPULSO

Uma definição geral para antenas, de faixa larga ou não, pode se descrevê-la como um transdutor que converte energia eletromagnética guiada em energia eletromagnética irradiada por uma linha de transmissão. No entanto, uma antena de impulso ou antena de faixa larga (UWB), como também é denominada, pode ser definida de maneira mais específica como um irradiador de baixo Q no qual a impedância de entrada permanece praticamente constante numa grande faixa de frequências [7], necessitando de uma transição bem casada com o espaço livre para evitar reflexão de energia.

O desenvolvimento da tecnologia UWB tem mostrado que na análise de uma antena de impulso além dos parâmetros tradicionais como casamento de impedâncias, ganho, polarização, etc. são necessários a verificação de parâmetros adicionais como linearidade de fase, estabilidade do diagrama de irradiação entre outros [8].

O elemento irradiante tradicionalmente é analisado do ponto de vista de frequência, ou seja, suas características no domínio tempo são negligenciadas. Isso tem implicações também na forma como são realizadas as medidas em equipamentos tais como analisadores de espectro e analisadores de rede, que tem o eixo das ordenadas em seus displays geralmente a frequência. Contudo, com a introdução das antenas UWB, com vistas a explorar o uso do espectro eletromagnético de forma mais eficiente, as análises temporais de circuitos de RF e antenas passaram a ter relevância.

Pode-se encarar uma antena como sendo um filtro, que modifica o sinal de entrada de acordo com sua respectiva

função de transferência. Esquemáticamente, como pode ser visualizado na figura 1, um sinal arbitrário  $s(t)$ , de espectro de potencia  $S(f)$  incide em uma antena. O espectro do sinal efetivamente irradiado pela antena será dado pelo produto dos espectros do sinal de entrada com a função de transferência da antena.

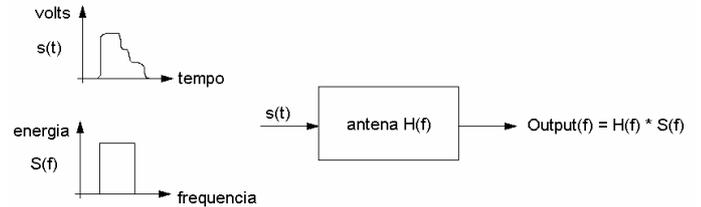


Fig.5. Antena visualizada com base na teoria dos sistemas lineares.

De acordo com a teoria dos sistemas lineares [9], para um sinal ser transmitido sem distorção em um canal genérico e necessário que:

- a magnitude da função de transferência da antena  $H(f)$  na região do espectro onde existe energia do sinal de entrada seja constante;
- a fase da função de transferência  $H(f)$  seja proporcional à frequência na região onde exista energia do sinal de entrada.

As duas condições acima mencionadas estão explicadas esquemáticamente na figura 6.

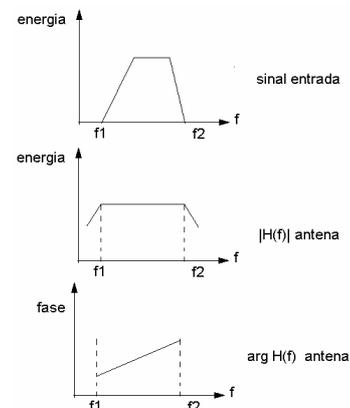


Fig.6. Relação para um sistema poder ser considerado como sem distorção.

Com o intuito de explorar com mais profundidade estes conceitos, sinais no domínio tempo aplicados sobre uma antena de banda larga serão analisados. Para esse fim foi utilizado o software CST MICROWAVE STUDIO [3], de simulação eletromagnética 3D. O software está baseado no método numérico denominado FIT (Finite Integration Technique), cuja formulação admite ambas as soluções, no domínio do tempo e da frequência. O domínio tempo é particularmente atraente para este tipo de aplicação, uma vez que sinais arbitrários de excitação no domínio tempo podem ser introduzidos. O domínio frequência opera com sinais do tipo CW, não sendo possível a versatilidade de formatar o sinal de excitação de maneira arbitrária.

#### IV. ANTENA MONOPOLO-DISCO MODIFICADO RESULTADOS SIMULADOS

O tipo de antena escolhida para a análise da antena UWB é uma variação do Monopolo de Disco Compacto (CDM), conforme ilustrado na figura 7 [10]. Um disco metálico de aproximadamente 100 mm de diâmetro é excitado pelo pino de um conector coaxial distante do plano terra por uma altura de 3 mm, sendo que a malha do coaxial faz contato com o plano de terra quadrado de 160 mm x 160 mm. A figura 8a ilustra a curva do parâmetro  $S_{11}$  em módulo e a figura 8b mostra a curva em fase.

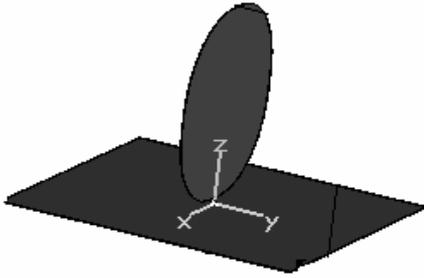


Fig.7. Antena Monopolo-Disco modificado.

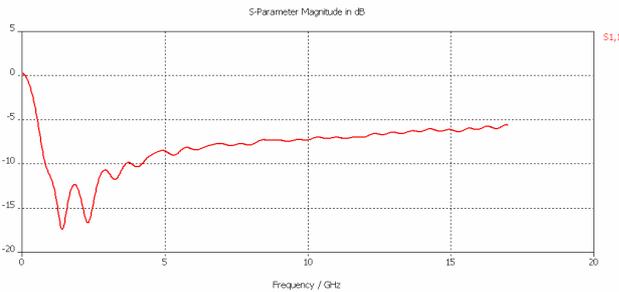


Fig. 8a. Resposta em módulo do coeficiente de reflexão  $S_{11}$

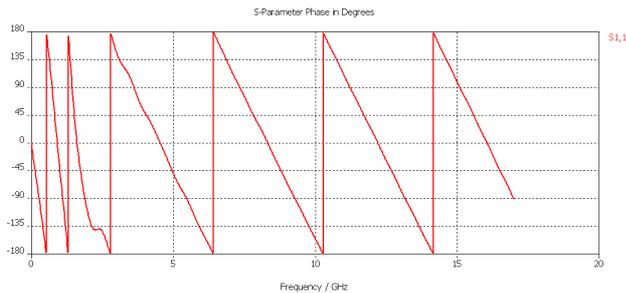


Fig. 8b. Resposta em fase do coeficiente de reflexão  $S_{11}$

A partir dos resultados da figura 8a podemos calcular a banda da antena, considerando o mesmo como compreendido com perda de retorno menor que 10dB ( $SWR \leq 2$ ), ou seja, entre 826MHz e 3,72GHz e uma banda de 2,9GHz.

Na figura 9 pode ser visualizado o diagrama de irradiação em diferentes frequências dentro da banda de funcionamento da antena variando o ângulo  $\theta$  com  $\phi = 90^\circ$ , onde se observa que com o aumento da frequência temos uma variação no diagrama de irradiação e uma tendência a um diagrama mais direcional.

Para avaliar o comportamento da antena monopolo-disco modificado duas situações foram simuladas e analisadas:

- excitação com um sinal  $s_1(t)$  cujo espectro tem a mesma banda da antena, entre 826MHz e 3,72GHz, gerado automaticamente pelo software de simulação a partir da faixa de frequências indicada pelo usuário;
- excitação com um sinal impulsivo arbitrário:

$$s_2(t) = t \cos\left(t + \frac{\pi}{4}\right) e^{-2t} \quad (9)$$

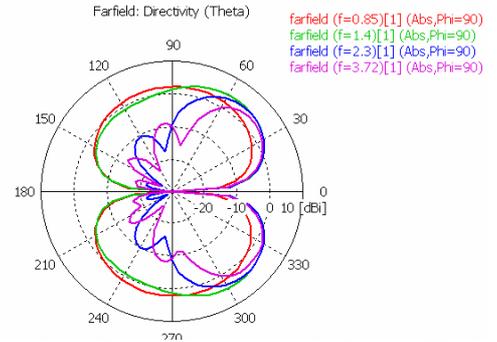


Fig.9. Diagramas de Irradiação da antena monopolo-disco modificado

O espectro de frequência dos dois sinais pode ser visualizado nas figuras 10a e 10b. O sinal  $s_2(t)$  possui espectro que se estende bem além da faixa de passagem da antena. Pode se prever assim que o sinal de saída será razoavelmente distorcido. Além disso, é interessante a observação que o conteúdo espectral de  $s_2(t)$  possui considerável energia em DC, o que não é possível de ser transmitido por antenas.

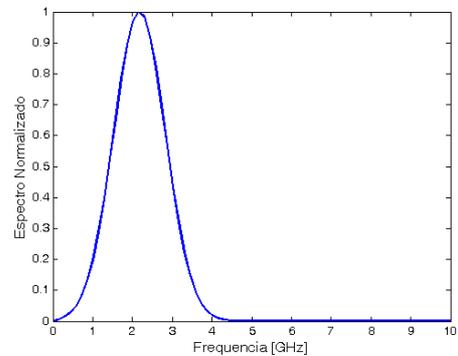


Fig 10a. Espectro do sinal  $s_1(t)$ .

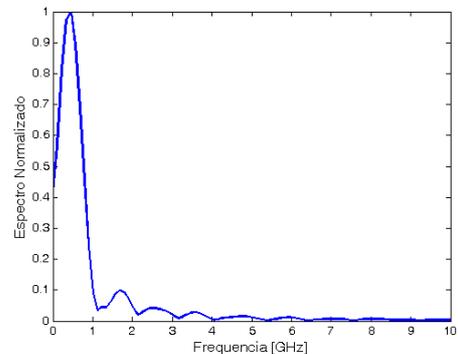


Fig. 10b. Espectro do sinal  $s_2(t)$

O teste dinâmico da antena é realizado conforme ilustrado na figura 11. A antena, excitada pelos sinais acima descritos,

tem o campo elétrico registrado pelas sondas localizadas a 120 mm de seu centro na direção do plano de terra. A presença física das sondas não influencia a simulação, apenas serve para comandar o registro do valor do campo elétrico nestes pontos. As três sondas têm orientações de acordo com os eixos do sistema de coordenadas x, y e z.

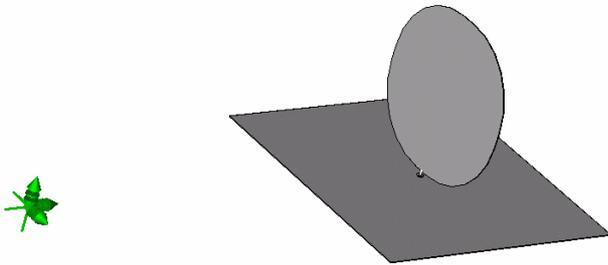


Fig. 11. Antena e as sondas orientadas de forma a gravar os sinais eletromagnéticos provenientes da antena.

Os resultados computados da antena submetida aos dois sinais são apresentados nas figuras 12a e 12b.

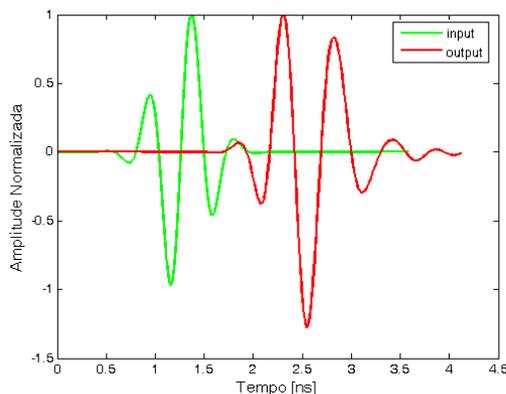


Fig.12a. Sinais de entrada e saída da antena para o sinal  $s_1(t)$

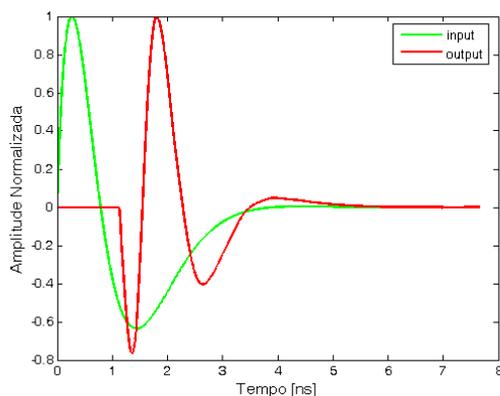


Fig.12b. Sinais de entrada e saída da antena para o sinal  $s_2(t)$

A partir dos resultados, é possível visualizar que o sinal  $s_1(t)$  não sofre distorção após ser transmitido pela antena, ao passo que o sinal  $s_2(t)$  apresenta notável distorção em sua forma de onda. Isto é decorrente do fato de que a banda do sinal de excitação tem componentes fora da faixa de passagem da antena.

Uma eventual detecção do sinal como representado na figura 12b teria que ser submetido a um processamento digital, visto

que o sinal transmitido é uma cópia relativamente distorcida do sinal original. Análises mais aprofundadas levariam em conta os coeficientes de correlação entre os sinais de entrada e saída. Estudos posteriores abordarão este tipo de análise sob o prisma do processamento digital de sinais.

## V. CONCLUSÕES

Neste trabalho é apresentada inicialmente uma revisão dos conceitos da tecnologia UWB e sua aplicação em uma antena de impulso do tipo monopolo-disco modificado.

Utilizando-se o software CST MICROWAVE STUDIO foram realizadas simulações nas quais se obteve o desempenho do sistema gerador de impulso-antena. Verificou-se que quando se aplica um impulso Gaussiano à antena apresenta resposta satisfatória em toda a banda de frequências, sem distorções no sinal. Já quando é aplicado um pulso arbitrário, nota-se a existência de distorções decorrentes do fato que a banda do sinal de excitação tem componentes fora da faixa de passagem da antena. Trabalhos futuros mostram potencialidades na análise de desempenho do sistema com diferentes antenas e tipos de impulso, visando aplicabilidade tanto na mitigação de interferentes como na transmissão intencional de pulsos. Observa-se também a necessidade de utilização de antenas compactas visando aplicações no setor aeroespacial e a implementação de protótipos experimentais para completa caracterização do sistema.

## REFERÊNCIAS

- [1] Win, M. Z., Scholtz, R. Impulse Radio: how it works, IEEE Communicatios Letters, vol. 2, no. 2, Feb. 1998.
- [2] Federal Communications Commission, First Report and Order, Revision of Part 15 of the Commission's Rules Regarding Ultra Wideband Transmissions Systems, FCC 02-48, April 22, 2002.
- [3] CST GmbH, www.cst.com, versao utilizada MICROWAVE STUDIO 2006B.
- [4] Ghavami, M., Michael, L., Kohno, R. *Ultra wide Band Signal and Systems in Communications Engineering*, John wiley & Sons, 2004.
- [5] Boukour, F., Rivenq, A. Heddebaut, M. Communication, Localisation et Detection d'Obstacles, INRETS, Lille, França e IEMN-DOAE, Université de Valenciennes.
- [6] Lu, G., Spasojevic, P. and Greenstein, L. "Antenna and pulse designs for meeting UWB spectrum density requirements".
- [7] Krauss, J. D., Marhefka, J. *Antennas for all Applications*. Ed. McGraw-Hill, 2002, ch.11, pp. 378-379.
- [8] Wu, X., Chen, Z. N., Chia, M. Y. W., "Note on antenna Design in UWB Wireless communication Systems", 2003 IEEE conference on Ultra Wideband Systems and Technologies Nov. 2003, pp. 503-507.
- [9] B.P. Lathi, *Modern Digital and Analog Communication Systems*, terceira edicao, Oxford University Press
- [10] Powell, J. *Antenna Design for Ultra Wideband Radio*, B. S. Electrical Engineering, New Mexico State University, 2001.

