Caracterização de Antena de Impulso Tipo Corneta no Domínio do Tempo

Cynthia Junqueira¹, Marcelo Perotoni², Benedito Sá de Araújo Filho¹, Rodrigo Vicentini³ e Mario Afonso Canto⁴.

IAE - Instituto de Aeronáutica e Espaço¹, IFI - Instituto de Fomento Industrial⁴, Av. Mal do Ar Eduardo Gomes, 50 São José dos Campos, SP

CST - Computer Simulation Technology², R. José Antônio Coelho, 603/113B, V. Mariana, São Paulo, SP

Agilent Technologies Brasil Ltda³, Al. Araguaia, 1142, Alphaville, São Paulo, SP

Resumo – Sistemas UWB vêm sendo investigados para aplicações comerciais, de defesa e segurança. A principal diferença entre a análise tradicional e UWB é que na última analisam-se sinais arbitrários no domínio temporal, enquanto que na primeira, sinais são vistos no domínio freqüêncial, existindo uma forte mudança de paradigmas no projeto, análise e ensaio dos sistemas. É apresentada a caracterização do sistema baseada em duas antenas cornetas, analisado via simulação eletromagnética e experimentalmente. A caracterização se deu no domínio freqüêncial e temporal. As boas comparações entre simulações e medidas atestam que os conceitos foram consistentes ressaltando parâmetros de avaliação próprios desses sistemas.

Palavras-chaves - antena, UWB, antenas de impulso.

I. INTRODUÇÃO

O processo de caracterização de antenas no domínio do tempo tem recebido considerável atenção na literatura [1], [2] e complementa a análise no domínio da freqüência. Estruturas UWB vêm sendo aplicadas em uma miríade de usos, tais como radares de altíssima resolução, sistemas de imageamento de segurança de alto desempenho, comunicações seguras e geradores de interferências [3].

Se considerarmos uma antena transmissora sendo excitada com um impulso ideal no domínio do tempo, como por exemplo, uma função Delta de Dirac, o campo irradiado medido no domínio do tempo será a resposta a este impulso transmitido. Associado a este impulso existe no domínio da freqüência um espectro de banda larga, teoricamente infinito no caso Delta de Dirac, desta forma, excitar uma antena no domínio do tempo é equivalente a excitar a antena no domínio da freqüência com todos seus componentes usando somente um impulso.

No estudo de antenas de impulso e UWB, a análise no domínio do tempo apresenta facilidades em relação ao domínio da freqüência; tais como redução da complexidade dos equipamentos de testes e aumento da eficiência nas medidas. Numa única medição é possibilitada a aquisição das características da antena em toda sua banda de freqüências corrigindo erros inerentes ao intervalo do tempo de cada medida como na caracterização no domínio da freqüência. Limitações de desempenho devem se observadas, e notadamente sabe-se da necessidade de uma base de tempo estável durante toda a medida e também um nível de amostragem suficiente no equipamento que fará recepção de dados. Cabos e conectores devem ser considerados nas medidas, pois introduzem reflexões que podem distorcer a verdadeira resposta da antena. Devido ao alto custo de todos os equipamentos envolvidos no processo de caracterização de antenas, uma análise de custo-benefício deve ser realizada no momento da escolha tipo do processo de caracterização, isto é, se no domínio do tempo ou freqüência, caso nem todos os equipamentos estejam disponíveis no laboratório de testes. Neste trabalho o objetivo é caracterizar no domínio do tempo, um sistema de transmissão e recepção utilizando antenas cornetas idênticas com uma banda de freqüência de 1GHz. Os ensaios são realizados em câmara anecóica, e os resultados comparados com simulações numéricas realizadas com o software CST [4].

II. REQUISITOS DO SISTEMA E DAS ANTENAS

Em se tratando de sistemas de comunicação sem fio, tanto em banda estreita como em banda ultra larga, do ponto de vista de sistemas existem requisitos básicos que devem ser observados. Estes requisitos estão relacionados com eficiência, níveis de emissão, possibilidade de detecção e especificações dos diagramas de irradiação.

Em sistemas de banda estreita, parâmetros tradicionais de antenas, como ganho, casamento de impedância e polarização são suficientes para caracterizar o desempenho de uma antena. No contexto de sistemas de banda ultra larga estes parâmetros não são suficientes para completamente descrever a antena.

Entre estes parâmetros a eficiência é bastante importante e pode ser definida como em (1), dependente não somente do módulo do coeficiente de reflexão $|S_{11}(f)|$, mas também do

espectro do pulso incidente.

$$\eta_{uvb} = \frac{\int_{0}^{\infty} P_{inc}(f)(1 - \left|S_{11}(f)\right|^{2})df}{\int_{0}^{\infty} P_{inc}(f)df}$$
(1)

Quando se opera em sistemas UWB para telecomunicações, os quais são regulamentados em freqüência e potência pelo *Federal Communications Commission* (FCC) [5], a emissão no espaço livre deve seguir limites para coexistir com outros sistemas de comunicação. Da teoria de sistemas lineares invariantes no tempo (LTI), o espectro do pulso irradiado pode ser obtido pela multiplicação do espectro do pulso incidente pela função de transferência do sistema conforme descrito em (2), onde θ é o ângulo de azimute e ϕ o ângulo de elevação.

$$P_{irr}(f,\theta,\phi) = H(f,\theta,\phi)P_{inc}(f)$$
⁽²⁾

A ausência de portadora no sistema UWB faz com que este opere no nível do ruído, recebendo sérias interferências e

C. Junqueira, cynthia.junqueira@iae.cta.br, Tel +55-12-39474937, Fax +55-12-39475019; M. Perotoni, Marcelo.perotoni@cst.com, tel +55-11-82974394, Fax +55-11-55392050; B. S. de Araújo Filho, benedito@iae.cta.br, Tel +55-12-39474729, Fax +55-12-39474797; R. Vicentini, Rodrigo_vicentini@agilent.com, Tel +55-11-41973921, Fax +55-11-41973933; M. A. Canto, marioafonsomarc@ifi.cta.br, Tel +55-12-39477333, Fax +55-12-39477111

desta forma uma detecção não coerente não é adequada. Contrasta com a detecção de banda estreita, onde com o apoio de um oscilador local, num esquema de detecção coerente, sinais modulados podem ser facilmente detectados devido à presença da portadora. O parâmetro fidelidade descrito na eq. (3) verifica a capacidade de um receptor coerente detectar sinais modulados onde $a(t, \theta, \phi)$ e b(t) são formas de onda do pulso incidente e recebido, respectivamente. Tal parâmetro é um análogo da correlação da teoria de processos estocásticos, onde ela varia de 0 (sinais completamente não correlacionados) a 1(sinais semelhantes, detecção simplificada).

$$F(\theta,\phi) = \frac{\int_{0}^{\infty} a(t,\theta,\phi)b(t)dt}{\sqrt{\int_{0}^{\infty} a^{2}(t,\theta,\phi)dt}\sqrt{\int_{0}^{\infty} b^{2}(t)dt}}$$
(3)

Outro parâmetro importante é o atraso de grupo, que mostra o atraso de tempo que um sinal é submetido ao trafegar pelo sistema, indicando desta forma a natureza dispersiva do sistema (atraso em tempo sendo função da freqüência do sinal), que resulta em pulsos distorcidos ao passar pelo canal UWB. Matematicamente é descrito em (4).

$$\tau_{g} = -\frac{d\theta(\omega)}{d\omega} \tag{4}$$

Se considerarmos o sistema antena-canal-antena como um filtro, se este tiver resposta de fase não linear o atraso de grupo irá variar com a freqüência e a forma de onda de saída será distorcida. Através do atraso de grupo pode-se observar de antemão a existência de distorção no sistema, que resultarão em pulsos muito diferentes dos transmitidos, equivalentes a fatores de fidelidade próximos de zero.

III. SISTEMA DE MEDIDAS

Neste trabalho o sistema de medidas é baseado no envio de sinais oriundos de um gerador de pulso (Agilent 81134) que é acoplado a uma antena transmissora; a recepção do sinal é feita por outra antena e os dados são gravados num osciloscópio digital (Agilent – DSA91404A) como mostra a Fig. 1 [7].

A antena corneta escolhida para caracterização opera na faixa de 1,7GHz à 2,6GHz, tem características mecânicas e elétricas similares às antenas tipo corneta do modelo 12-1.7 da Scientific Atlanta [8] e conseqüentemente não atende a faixa completa de uma antena UWB para ser utilizada em sistemas de telecomunicações conforme as regras adotadas pela *Federal Communications Commission* (FCC) Norte-Americano, de 3,1GHz a 10,6GHz, mas é adequada aos requisitos de banda do sistema de transmissão/recepção do projeto na qual está inserida [5].

Na montagem do ensaio, dentro da câmara anecóica do IFI-CTA, as duas antenas, transmissora e receptora foram separadas de tal maneira que a condição de campo distante referente à $\frac{2D^2}{\lambda}$ onde D é a maior abertura da antena e λ o

comprimento de onda na menor freqüência na banda da antena fosse obedecida. Todas as medidas no domínio do tempo foram realizadas com as antenas em polarização vertical, com azimute e elevação fixos em 0°. Para a caracterização dos diagramas de irradiação no domínio da freqüência variou-se a polarização e o ângulo de azimute. Complementarmente foram realizadas medidas de impedância de entrada e todos os resultados comparados às simulações com o software CST MICROWAVE STUDIOTM [4]. Resultados coerentes com a teoria e concordantes entre simulação numérica e medidas experimentais foram verificados.



Fig. 1. Montagem do Sistema

Os resultados da resposta impulsiva da antena e a respectiva função de transferência do sistema, obtido via simulação são comparados aos resultados medidos a fim de verificar a coerência de resultados e provar a validade da simulação computacional, conforme apresentado na seção IV a seguir.

IV. RESULTADOS OBTIDOS

A caracterização da antena tipo corneta foi realizada no domínio do tempo e da freqüência e seus resultados comparados com simulações eletromagnéticas.

Conforme a capacidade e restrições do gerador de pulsos utilizado, gerou-se um pulso com largura de 298,5ps, com tempo de subida e descida avaliado em 0.16ps. O pulso na saída do gerador, após os cabos coaxiais da câmara anecóica e um pulso retangular ideal, com as mesmas características, gerado pelo CST MICROWAVE STUDIOTM [4] são mostrados na Fig. 2.



Fig. 2. Pulso aplicado na antena transmissora

O espectro de freqüências do pulso utilizado nos ensaios experimentais é apresentado na Fig. 3. O espectro se estende até 3.3GHz, mas com energia relativamente baixa no extremo superior do espectro. Assim torna-se mais crítico o uso deste equipamento nessa faixa de freqüência. Para aumentar a amplitude do pulso poderíamos utilizar um amplificador de banda larga na entrada ou um amplificador de baixo ruído e banda larga na recepção, equipamentos estes não disponíveis quando da realização destes testes.



Fig. 3 Espectro em freqüência do pulso de entrada

A amostragem de um pulso estreito, pelo critério de Shanon, exige uma amostragem compatível, isto é, com alta densidade de pontos, desta forma uma série de pulsos é gerada e o gerador de pulsos deve ser preferencialmente sincronizado com o osciloscópio. Conforme pode ser visualizado na Fig. 2, cabos e conexões introduzem uma distorção adicional ao pulso retangular ideal originário no gerador e devem ser os mais curtos possíveis.

Para uma análise complementar as antenas foram investigadas com o software CST MICROWAVE STUDIOTM[4] e medidas de impedância de entrada foram realizadas e comparadas com a simulação numérica. Os resultados do módulo do coeficiente de reflexão da antena receptora mostram bom casamento de impedância em toda a faixa da antena, onde os resultados experimentais são melhores que os simulados e podem ser visualizados na Fig. 4.



Fig. 4 Módulo do coeficiente de reflexão S11

Os resultados dos diagramas de irradiação no domínio da freqüência são mostrados nas Fig. 5 e 6 para as freqüências de 1,7GHz e 2,6GHz, respectivamente a freqüência mínima e máxima da banda da antena. Na montagem do sistema de medidas as antenas foram afastadas de 1,4m. Verifica-se a excelente concordância entre os diagramas de irradiação simulados e experimentais na polarização vertical (copolarizado) e horizontal (polarização cruzada). O ganho simulado e medido é mostrado na tabela I.





Fig. 5. Diagrama de irradiação - 1,7GHz



Fig. 6. Diagrama de irradiação - 2,6GHz

No domínio do tempo, foram realizadas medidas da resposta ao impulso no sistema de transmissão/recepção com as antenas em polarização vertical e azimute e elevação iguais a zero grau. O resultado da resposta impulsiva da antena e a respectiva função de transferência do sistema, obtidos via simulação são comparados aos resultados medidos. Utilizouse nesta comparação um pulso de entrada retangular ideal de 0,16ns de tempo de descida e subida, com largura de pulso de 298,5ps e o próprio pulso de saída do gerador visualizado na Fig. 2 a fim de comprovar a validade da simulação computacional. A resposta impulsiva do sistema é apresentada na Fig. 7 e é visualmente perceptível a concordância entre as simulações do pulso gerado pelo equipamento, do pulso retangular e as medidas experimentais.

A amplitude mais elevada do pulso de entrada experimental pode ser explicada pelo fato que este pulso sofreu apenas a distorção do cabo coaxial de ligação entre gerador e antena transmissora enquanto que nas simulações levou-se em conta a distorção adicional causada pelo cabo coaxial entre antena receptora e osciloscópio.



Fig. 7. Resposta impulsiva do sistema

A Transformada de Fourier rápida (FFT) do pulso de entrada e sua respectiva saída representados na Fig. 8 mostram claramente o decaimento de energia com a freqüência em toda a banda passante da antena.

Para a realização dos diagramas de irradiação completos no domínio do tempo bastaria a aquisição de dados de uma rotação de azimute de 360° em cada plano de polarização. Sua comparação com aqueles traçados no domínio da freqüência pode ser realizada em pós-processamento pela verificação da resposta da Transformada de Fourier em cada ponto.



Fig. 8. A Transformada de Fourier rápida do pulso de entrada e de saída

A partir dos resultados das simulações calculou-se o atraso de grupo na faixa de freqüência de 1,7 a 2,6 GHz, o qual é mostrado na Fig. 9. Este resultado oscilante denota a existência de distorção no sistema. O fator de fidelidade calculado foi de 0,21.

Este resultado de baixo fator de fidelidade nos leva a averiguar, via simulação, o desempenho do sistema caso existisse a possibilidade de aplicar na entrada um pulso com 100% de sua energia dentro da banda da antena. Este caso é então mostrado na Fig. 10, onde se observa a representação temporal de um pulso Gaussiano na entrada e na saída do sistema antena-canal-antena. A fidelidade calculada foi de 0,98.



Fig. 10. Representação temporal de pulso Gaussiano

A Transformada de Fourier rápida (FFT) do pulso de entrada e sua respectiva saída representados na Fig. 11 mostram que para este caso hipotético o pulso seria transmitido pelo sistema antena-canal-antena praticamente sem distorção, tornando a detecção extremamente simples. Infelizmente, a viabilidade de obter equipamentos geradores de pulso com essa banda é reduzida. Uma alternativa, atualmente em estudo, consiste em formatar o pulso após a saída do gerador com filtros passa-faixa. Evidentemente, os referidos filtros devem teoricamente introduzir um mínimo de distorção no pulso no domínio tempo, sinalizando uma implementação de filtro que privilegie o sinal no domínio tempo, caso dos protótipos Bessel ou Gaussiano, ou implementações customizadas [6].



Fig 11. A Transformada de Fourier rápida do pulso de entrada e de saída

V. CONCLUSÕES

A caracterização de um sistema UWB baseado em antena tipo corneta foi realizada nos domínios do tempo e da freqüência possibilitando uma comparação satisfatória entre resultados experimentais e simulados. Complementarmente foram calculados os fatores de fidelidade e atraso de grupo tanto para o caso de um pulso retangular como para um pulso Gaussiano.

Foi constatada a forte importância do sinal de entrada UWB no fator de fidelidade, que acabará por impactar na própria facilidade de detecção no receptor. Assim, um sistema com boa fidelidade necessitará de uma menor potência de transmissão, bem como um menor esforço computacional para detecção.

O método de caracterização da antena de impulso no domínio temporal permite medidas em banda larga de freqüências com ganhos de eficiência e redução de complexidade de equipamentos envolvidos, ainda que tais equipamentos de medida sejam ainda caros e específicos.

Observando os resultados oriundos das análises nos dois casos analisados, denota-se a dependência do método com o perfil de potência em freqüência e largura do pulso de entrada, mostrando a necessidade de geradores com tempo de subida e descida rápidos, largura de pulso estreita e com nível de tensão de saída suficiente para possibilitar medidas adequadas, caso as antenas do sistema sejam de baixo ganho. Salienta-se uma alternativa, atualmente em estudo, que consiste em formatar o pulso após a saída do gerador com filtros passa-faixa.

Outro fator importante nesta caracterização é a necessidade de uma mitigação dos efeitos dos cabos coaxiais e conexões que influenciam na resposta ao impulso, até mesmo mascarando os resultados. Um estudo desta mitigação via pós-processamento está entre as intenções de trabalhos futuros, criando a partir daí, uma nova metodologia na calibração do sistema de medidas.

Este trabalho faz parte das investigações e análises de antenas de impulso a serem aplicadas na transmissão de sinais que possam causar interferências em sistemas eletro-eletrônicos. Trabalhos futuros prevêem estudos de antenas de impulso que suportem sinais de alta potência.

AGRADECIMENTOS

Ao apoio oferecido pela Agilent Technologies Brasil Ltda que possibilitou o uso do gerador de pulso e osciloscópio para a realização dos ensaios experimentais deste trabalho.

REFERÊNCIAS

[1] W. S. Bigelo, E. G. Farr, L. H. Bowen, T. C. Tran, C. E. Baum, and W. D. Prather, "Automated time domain antenna range initial implementation", *Sensor and Simulation*, Note 456, Air Force Research Laboratory, May, 2001.

[2] E. K. Miller, *Time Domain Measurements in Electromagnetics*, Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1986.

[3] M. Di Benedetto, T. Kaiser, A. Molisch, I. Oppermann, C. Politano and D. Porcino, UWB Communications Systems: A Comprehensive Overview, Hindawi Publishing Corporation, Ney york, USA, 2006.

[4] CST GMbH, www.cst.com, MICROWAVE STUDIO 2008.

[5] 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.

[6] I. Tekin "UWB Microstrip Filter Design Using a Time Domain Technique", *Microwave and Optical Technology Letters*, vol.47, No.4, pp. 387-391, Nov. 20 2005.

[7] Agilent Technologies, www.agilent.com

[8] Scientific Atlanta, Microwave Measurement Systems and Products Catalog, USA.