

## 6 Conclusão

Em antenas microfita, a corrente de excitação induz uma corrente espalhada no *patch* metalizado responsável por gerar o campo elétrico radiado pela antena. Neste trabalho, o Método dos Momentos [4] e [6] foi utilizado na determinação da densidade de corrente espalhada no *patch* e no cálculo da impedância de entrada da antena microfita, excitada por cabo coaxial. Funções de expansão do tipo *Entire Domain* foram utilizadas na expansão em modos da densidade de corrente. As equações integrais, resultantes da passagem do campo elétrico no domínio espectral para o domínio espacial, envolvem as funções de Green exatas para a representação da camada de dielétrico, o que garante que as ondas de superfície excitadas no substrato sejam levadas em conta com rigor.

As integrais envolvidas na solução da antena microfita foram resolvidas numericamente. Foi implementado um algoritmo em FORTRAN para solução da impedância de entrada através da determinação da densidade de corrente espalhada no *patch*. Foram feitas análises das singularidades [6] e do comportamento assintótico do integrando [10], [11] e [12] de modo a garantir a eficiência computacional do algoritmo implementado. Foi feita uma análise comparativa de desempenho numérico das técnicas apresentadas pelos diversos autores para a solução do comportamento assintótico do integrando das equações envolvidas no método de análise.

Foi feita, de maneira satisfatória, a validação do algoritmo através da comparação com os resultados apresentados em [4]. O tratamento da singularidade e do comportamento assintótico do integrando das equações envolvidas no problema foi feito, neste trabalho, de maneira distinta com relação ao método apresentado em [4]. Foi realizada a análise da convergência do código numérico implementado com o número de modos utilizados no Método dos Momentos para expansão da densidade de corrente espalhada no *patch*. Essa análise foi uma contribuição ao trabalho apresentado em [4] uma vez que o autor utilizou apenas um modo na aproximação da densidade de corrente espalhada no *patch*. O resultado para a impedância de entrada convergiu, com erro menor que 0,5%, com apenas 11 modos na expansão. Também foi feita análise da

convergência do código com o limite superior de integração. A análise de convergência foi fundamental para garantir a acurácia dos resultados com o menor tempo computacional possível. Essa análise foi também uma contribuição ao trabalho apresentado em [4] uma vez que destacou a importância da escolha adequada desse limite de integração na acurácia dos resultados.

Com o objetivo de comparar métodos numéricos distintos, foram utilizados dois programas comerciais de simulação eletromagnética, o HFSS (FEM) e o CST (FIT). Foram observadas discrepâncias entre os resultados obtidos, o que motivou a análise das possíveis causas de tais diferenças. Foram feitas diversas simulações no HFSS e no CST com alterações nos parâmetros de entrada (dimensões do plano de terra, malha numérica, posição da condição de fronteira de radiação, critério de convergência e dimensões do cabo coaxial), com o objetivo de assegurar a acurácia dos resultados e com isso permitir a comparação com o Método dos Momentos.

- **Plano de Terra**

Foi possível concluir que as dimensões do plano de terra exerceram forte influência nos resultados da impedância de entrada, que apresentou comportamento convergente à medida que o plano de terra aumentou. As dimensões que fizeram a impedância convergir podem ser consideradas suficientes para que o plano de terra seja modelado como infinito. Dessa forma, foi possível concluir que não foram as dimensões do plano de terra as causas para as discrepâncias dos resultados com relação ao Método dos Momentos, uma vez que os valores utilizados neste trabalho garantiram a convergência da impedância de entrada.

- **Malha Numérica**

Foi possível concluir que a malha numérica utilizada nas simulações no HFSS e CST apresentadas neste trabalho garantiram a convergência dos resultados com um erro menor que 0,2% para a frequência de ressonância. Com isso, foi possível afirmar que a malha numérica não foi a causa das discrepâncias dos resultados com relação ao Método dos Momentos.

- **Condição de Fronteira de Radiação**

Foi possível concluir que a posição da condição de fronteira de radiação utilizada nas simulações no HFSS neste trabalho garantiu a convergência da impedância

de entrada. Dessa forma, não foi possível afirmar que o modelamento da condição de radiação foi uma causa para as discrepâncias dos resultados com relação ao Método dos Momentos.

- **Critério de Convergência**

Foi possível concluir que o valor utilizado para o parâmetro  $\Delta S$  neste trabalho garantiu a convergência dos resultados com erro menor que 0,1% para a frequência de ressonância. Dessa forma, foi possível afirmar que o critério de convergência não foi uma possível causa para as diferenças com relação ao Método dos Momentos.

- **Alimentação**

No Método dos Momentos, a excitação é modelada como um impulso de corrente no patch metalizado. Já no HFSS e no CST, a alimentação foi feita por um cabo coaxial excitado por uma porta localizada no plano  $z = -h_{coaxial}$ . No Método dos Momentos, foi feita uma correção [4] e [17] na impedância de entrada com o objetivo de levar em consideração a auto-indutância do cabo coaxial. No entanto, a expressão utilizada (Equação 4.1) não levou em conta as dimensões do cabo coaxial.

A influência das dimensões do cabo coaxial nos resultados obtidos pelo CST e HFSS foi analisada. Foi possível concluir que as variações nas dimensões do cabo geraram diferenças insignificantes entre os resultados. Dessa forma, foi possível concluir que as dimensões do cabo coaxial não foram causas para as diferenças entre os resultados obtidos pelo Método dos Momentos e os obtidos pelo HFSS e CST.

Os resultados da análise da influência dos parâmetros de entrada do HFSS e CST na impedância de entrada levaram a concluir que a antena foi bem modelada nos programas e que os resultados foram obtidos com acurácia. No entanto, apesar das variações nos parâmetros de entrada, não foi possível tornar o modelamento da antena nos programas comerciais igual ao modelamento no Método dos Momentos. A principal diferença com relação ao modelamento da fonte é que enquanto no CST e HFSS o modelo de excitação considera o cabo coaxial como parte do dispositivo, no Método dos Momentos a excitação é aproximada por um impulso de corrente aplicado diretamente sobre o *patch* metalizado. Dessa forma, no HFSS e CST a excitação está localizada no plano  $z = -h_{coaxial}$ , enquanto no Método dos Momentos, a localização é no

plano  $z = h$ . Além disso, há uma diferença com relação à distribuição de campo elétrico na camada de substrato.

Foi feita a análise da influência da espessura da camada de dielétrico ( $h$ ) na impedância de entrada da antena. Foi possível concluir que à medida que o valor de  $h$  diminuiu, os resultados obtidos pelo Método dos Momentos se aproximaram aos resultados obtidos pelo HFSS e CST. Isso ocorreu, pois à medida que a espessura da camada de substrato diminuiu, a região de discrepância com relação à distribuição de campo elétrico também diminuiu, levando à aproximação dos resultados de impedância de entrada.

Após as análises apresentadas neste trabalho, foi possível comprovar a eficiência do Método dos Momentos na análise de antenas microfita. O algoritmo implementado, baseado no Método dos Momentos, apesar de pouco flexível com relação ao modelamento da antena, gerou resultados com menor demanda computacional e igual precisão numérica em comparação com os programas comerciais de simulação eletromagnética.

Uma sugestão de futuros estudos correlatos a este trabalho se refere à análise, pelo Método dos Momentos, do acoplamento entre duas antenas de microfita alimentadas por cabo coaxial e à comparação de resultados com métodos numéricos distintos.