

8 Conclusões

8.1. Conclusões sobre o Trabalho

Conforme mencionado no Capítulo 1, antenas duplo-refletores utilizadas na cobertura omnidirecional oferecem a perspectiva de utilização em enlaces ponto-multipontos para provimento de acesso de “última milha” sem fio de alta velocidade, que são atraentes pela possibilidade de obter banda larga e alta eficiência, e, ainda, estruturas compactas quando operando nas faixas de ondas milimétricas.

Neste contexto, este trabalho teve por objetivo apresentar uma técnica de projeto para estas antenas omnidirecional duplo-refletores, considerando o caso particular em que o refletor principal é obtido a partir de uma geratriz circular, não sendo ainda explorada na literatura esta configuração de refletor principal para a aplicação omnidirecional. Para isto, foi feito um estudo detalhado desta configuração buscando a maximização da eficiência na cobertura e a obtenção de baixas perdas de retorno ao longo de largas bandas de frequência. Este estudo foi dividido em duas partes: Na primeira, foi feita a síntese das superfícies refletoras destas antenas, de forma a identificar as geometrias mais eficientes e compactas através de um estudo exploratório, considerando que o máximo do diagrama de radiação fosse, inicialmente, na linha do horizonte e, em seguida, deslocado no plano de elevação. Na segunda etapa do trabalho, foi reprojeta a corneta coaxial apresentada em [18] e utilizada como referência neste estudo, com o objetivo de reduzir sua perda de retorno e o nível de lóbulos laterais do seu diagrama de radiação ao longo da banda estendida de 8 a 10,5 GHz, e, também, foi feita a análise rigorosa destas configurações de duplo-refletores, buscando a caracterização destas antenas ao longo desta banda de operação escolhida para a corneta coaxial.

Para este tipo de refletor principal, no Capítulo 5 foi possível identificar duas configurações distintas para estas antenas, chamadas neste trabalho de ODRC (*Omnidirectional Dual-Reflector Real Caustic*) e de ODVC (*Omnidirectional Dual-Reflector Virtual Caustic*), que se diferem por

apresentarem mapeamentos distintos para os raios que emergem da fonte e são direcionados para a abertura da antena, caracterizados pela existência de uma superfície cáustica real e outra virtual.

A síntese destas duas configurações (ODRC e ODVC) foi conduzida no Capítulo 5 através da aplicação dos princípios da Ótica Geométrica (GO) onde, a partir de uma abertura pré-especificada, o subrefletor foi modelado para produzir fase uniforme sobre a abertura cilíndrica em frente ao refletor principal, direcionando o máximo do diagrama de radiação na linha do horizonte. Ainda no Capítulo 5 foi iniciada a análise destas antenas através da utilização do Método da Abertura (ApM) combinado com as aproximações da Ótica Geométrica (GO) em um estudo exploratório, objetivando a identificação de uma família de duplo-refletores eficientes e compactos. Embora o ApM combinado com as aproximações da GO não considere os efeitos difrativos relacionados à borda dos refletores e efeitos de acoplamento entre as partes que constituem estas antenas, este estudo exploratório foi de grande valia, pois este método é extremamente eficiente, do ponto de vista numérico, e forneceu uma boa aproximação para o ganho máximo destas antenas.

O estudo paramétrico apresentado na Seção 5.4 mostrou que para as antenas ODRC e ODVC, à medida que o sub-refletor se afasta do refletor principal, através do aumento de V_S , o diâmetro deste refletor principal diminui e o do sub-refletor aumenta. Este comportamento provoca o aumento de ganho e de volume destas antenas duplo-refletores. O aumento de ganho está associado ao aumento da eficiência de iluminação da abertura, visto que, a iluminação desta abertura fica mais uniforme, como pode ser visualizado nas Figuras 5.23 e 5.37, para as configurações ODVC e ODRC, respectivamente. A configuração ODRC apresentou ganho máximo ligeiramente maior que a ODVC. Entretanto, para a faixa de ganho próxima deste máximo, a configuração ODVC apresenta estruturas mais compactas que a ODRC. Para ambas as configurações, a variação de θ_E afeta mais o desempenho eletromagnético do que o volume destas antenas, visto que, este ângulo está associado ao transbordamento (*Spillover*) da parcela da energia proveniente do alimentador que ultrapassa os limites do sub-refletor.

Também utilizando o ApM combinado com as aproximações da GO, as análises fornecidas no Capítulo 6 para o deslocamento do máximo do diagrama de radiação no plano de elevação levaram a sugestão da utilização da configuração ODVC. Esta configuração mostrou-se particularmente interessante,

quando comparada com a ODRC, por apresentar estruturas mais compactas e uma menor limitação na variação do deslocamento de feixe quanto à superfície caústica, inerente ao formato circular da geratriz do refletor principal.

Para a aplicação pretendida para estas antenas duplo-refletoras, a necessidade da obtenção de estruturas compactas e a alta eficiência e largura de banda requerem a utilização de ferramentas de análise mais acuradas que levem em conta todos os efeitos eletromagnéticos relevantes, de forma a fazer uma predição mais precisa da eficiência, do nível de lóbulos secundários e da perda de retorno, parâmetros importantes na definição da banda de operação da antena.

Dentro deste contexto, outro ponto que merece destaque na abordagem feita neste trabalho é a utilização do método híbrido (MMT/MoM) composto pelo Método de Casamento de Modos (MMT) e pelo Método dos Momentos (MoM), aplicado na análise de estruturas coaxiais, cuja aplicação não consta na literatura. A formulação para tal aplicação foi apresentada nos Capítulos 2, 3 e 4, provendo a ferramenta necessária para avaliar rigorosamente as características eletromagnéticas das antenas duplo-refletoras para cobertura omnidirecional propostas neste trabalho. A estratégia da combinação destes dois métodos numéricos se torna efetiva na medida em que há a necessidade da inclusão de estruturas de acoplamento com carregamento dielétrico na cadeia de alimentação destas antenas, tratadas com eficiência pelo Método do Casamento de Modos. No Capítulo 4 foram apresentados resultados numéricos (perda de retorno e diagramas de radiação) obtidos pelo MMT/MoM na análise de diversas estruturas. Estes resultados foram comparados com os obtidos pelo Método dos Momentos aplicado na solução da equação integral de campo elétrico (EFIE) combinado com a técnica *Impedance Boundary Condition (IBC)*, utilizada na definição da excitação, apresentado em [40] e discutido no Apêndice C. A análise destas comparações mostra uma concordância satisfatória entre as soluções obtidas pelos dois métodos em todos os casos avaliados, o que demonstra a validade, precisão e robustez da formulação apresentada nos Capítulos 2, 3 e 4.

Inicialmente, no Capítulo 7 foi utilizado o MMT/MoM para reprojeter a corneta coaxial apresentada em [18] e excitada pelo modo TEM, a qual foi projetada para operar na banda de 8,4 a 10 GHz, com uma perda de retorno menor que -15dB ao longo desta banda. O objetivo do redimensionamento desta corneta coaxial foi estender a sua banda de operação para 8 a 10,5 GHz e reduzir as perdas de retorno e o nível de lóbulos laterais do seu diagrama de

radiação ao longo desta banda. Primeiramente, utilizando o processo de otimização descrito no Apêndice E, foram ajustadas as dimensões da estrutura de acoplamento utilizada para fazer a transição entre o conector padrão do tipo “N” e o guia de onda coaxial de alimentação da corneta, obtendo-se uma perda de retorno abaixo de -50 dB ao longo da banda pretendida. Posteriormente, considerando esta nova estrutura de acoplamento, as análises em banda do comportamento eletromagnético desta corneta coaxial em função do ajuste de suas dimensões mostraram que a perda de retorno é mais sensível a variações das dimensões de sua abertura, onde obteve-se uma perda de retorno abaixo de -22 dB ao longo desta banda de frequência. Variações menores foram obtidas na redução do nível de lóbulos laterais do diagrama de radiação e as análises feitas para o ajuste das dimensões da corrugação desta corneta mostraram que as dimensões originais apresentaram os melhores resultados.

Tomando como referência esta nova corneta coaxial, ainda no Capítulo 7 foram apresentados resultados para a perda de retorno e para o diagrama de radiação, obtidos a partir do MMT/MoM, das antenas duplo-refletores ODRC e ODVC, selecionadas dos estudos paramétricos feitos nos Capítulos 5 e 6. Para o caso em que o máximo do diagrama de radiação encontra-se na linha do horizonte, referentes às antenas sintetizadas no Capítulo 5, as análises feitas na Seção 7.3.1 para os dois casos abordados para a configuração ODRC mostraram que aumentando o ângulo θ_E da borda do subrefletor e, conseqüentemente, diminuindo a iluminação da borda do subrefletor pelo diagrama de radiação do alimentador consegue-se reduzir sensivelmente a contribuição do subrefletor na perda de retorno da antena duplo-refletores. Como mostrado, isto ocorre devido ao tipo de mapeamento adotado para esta configuração, onde a energia que incide sobre esta borda é direcionada para o topo do refletor principal próximo a abertura da corneta coaxial. Este ajuste de θ_E reduz, também, o nível de lóbulos laterais do diagrama de radiação destas antenas resultantes do transbordamento da energia sobre a borda do subrefletor, entretanto, traz o aumento da iluminação da borda do refletor principal e, conseqüentemente, o aumento dos lóbulos atrás deste refletor, na região próxima ao eixo de simetria. Para a configuração ODVC abordada na Seção 7.3.2, as análises mostraram que a iluminação da borda do subrefletor tem pouca influência sobre a perda de retorno da antena, visto que, esta energia é direcionada para a base do refletor principal, longe da abertura da corneta. Entretanto, o nível de lóbulos laterais associados ao transbordamento da energia

sobre o subrefletor e a difração na base do refletor principal mostra-se mais sensível a esta iluminação de borda, como esperado.

Para a análise do deslocamento da direção de máxima radiação no plano de elevação em um ângulo α , referente às antenas sintetizadas no Capítulo 6, foi considerada apenas a configuração ODVC, pois a configuração ODRC não apresentou bons resultados para o deslocamento do feixe, tendo em vista que para minimizar a limitação imposta pela superfície cáustica sobre a variação de α (Ver Figura 6.15) torna-se necessário a utilização de um refletor principal que requer um subrefletor com diâmetro muito grande para valores pequenos de α , o que resulta em um aumento assintótico do volume destas antenas para o máximo do diagrama de radiação próximo ao horizonte. Esta análise para a configuração ODVC mostrou que a diminuição de V_S com o aumento do ângulo de deslocamento do feixe acentua os efeitos de acoplamento entre os refletores e a corneta coaxial, provocando um pequeno aumento na contribuição dos refletores na perda de retorno da antena para as altas frequências. Para a análise do comportamento do diagrama de radiação ao longo da banda de operação, o aumento de θ_E com o aumento do ângulo de deslocamento do feixe reduz o nível de lóbulos laterais associados ao transbordamento da energia sobre o subrefletor e, também, a radiação para trás do refletor principal, na região próxima ao eixo de simetria.

8.2. Sugestões para a Continuidade do Trabalho

Para uma completa abordagem das configurações das antenas duplo-refletores ODVC e ODRC apresentadas neste trabalho, existem alguns pontos que merecem serem investigados futuramente. Assim como feito para o deslocamento da direção de máxima radiação no plano de elevação, a obtenção de diagramas de radiação do tipo co-secante ao quadrado através do modelamento de um dos refletores é um aspecto que se mostra relevante, quando se almeja uma iluminação mais uniforme da área de cobertura destas antenas, evitando interferências nos enlaces adjacentes e aumentando a eficiência espectral.

Outro ponto que pode ser abordado é a utilização da técnica de otimização descrita no Apêndice E para o ajuste de todas as dimensões que envolvem a

cadeia de alimentação destas antenas, onde, eventualmente, podem-se obter resultados ainda melhores para a perda de retorno através do modelamento da corneta. Estas técnicas de otimização podem ser empregadas, também, no modelamento das superfícies refletoras, objetivando o aumento da eficiência destas antenas. Pode-se, também, avaliar o desempenho das configurações ODVC e ODRC a partir da utilização de outras configurações de corneta coaxial, obtidas nas análises paramétricas abordadas no Capítulo 7.

Quanto ao método de análise MMT/MoM, estudos a respeito da utilização de outros tipos de funções de base para a representação das correntes superficiais podem trazer melhorias na precisão e convergência das análises numéricas, reduzindo o esforço computacional requerido pelo MoM. Entretanto, a representação das funções de base através de funções muito sofisticadas pode resultar em equações integrais muito complicadas e de difícil tratamento das singularidades. Para o MMT, a extensão da aplicação para outros tipos de alimentadores como, por exemplo, a corneta cônica excitada pelo modo TM_{01} pode ser investigada. Assim como a aplicação deste método híbrido na análise de outros tipos de antenas com simetria axial.