

1

Introdução

No projeto de antenas com características diretivas, refletores têm dominado o cenário das aplicações na faixa de microondas em virtude de sua simplicidade de síntese e implantação. Outro dispositivo que efetua a mesma função, ou seja, transformar uma frente de onda esférica produzida pelo alimentador em uma frente de onda plana referenciada à abertura, são as lentes. Desta forma, dependendo das especificações, lentes e refletores são intercambiáveis em sistemas de microondas, pois ambos realizam a modificação de fase do campo primário, ficando o critério de escolha entre um ou outro dispositivo condicionado a sua aplicação.

Lentes dielétricas são projetadas baseado no fato da velocidade de propagação da onda eletromagnética ser menor que a propagação no espaço livre ao atravessar o material dielétrico, caracterizado pelo índice de refração maior que a unidade. Esta característica permite a equalização do percurso percorrido entre os diversos raios através da lente até sua abertura. Alternativamente, na faixa de microondas, lentes podem ser construídas utilizando-se placas metálicas paralelas, separadas de uma distância maior que meio comprimento de onda e menor que um comprimento de onda, que, quando iluminadas por um campo primário com o vetor campo elétrico paralelo as placas, apresenta propriedades de um meio refrativo caracterizado por um índice de refração menor que a unidade.

Trabalho precursor no projeto destas estruturas foi desenvolvido por Kock em [12], onde o perfil requerido pela lente era determinado de forma simples pelo traçado de raios da fonte, passando pela lente, até sua abertura. Este perfil determinava a equação de uma elipse, e se um número de placas com este perfil fossem postas lado a lado, com um espaçamento próprio, obtinhasse uma lente focalizadora em um plano, isto é, uma lente para ser excitada com uma fonte idealmente linear. Por outro lado, a revolução deste perfil ao redor do eixo de simetria, e posterior adequação das placas a superfície de revolução assim definida, produzia uma lente com simetria circular com capacidade de focalizar em ambos os planos, ou seja, uma lente para ser excitada por uma

fonte idealmente pontual.

Uma vez que lentes e refletores realizam a mesma função, comparações entre estas estruturas foram naturalmente apresentadas no trabalho de Kock, e como o ganho e o diagrama de radiação de ambos eram praticamente idênticos para determinada abertura, levou-se em consideração nesta comparação os aspectos práticos. Uma das principais vantagens das lentes metálicas sobre os refletores, segundo Kock, estavam em sua grande tolerância a deformações e torções sem ocasionar prejuízos ao ganho, posicionamento do feixe, e lóbulos laterais. Esta propriedade surge do fato do feixe situar-se ao longo de uma linha projetada do alimentador através do centro da lente, de forma que, pequenas deformações angulares por um eixo que passe através da lente tem efeitos mínimos sobre o posicionamento do feixe e, conseqüentemente, do diagrama de radiação, sendo estas considerações confirmadas experimentalmente.

A posição do alimentador é outra vantagem, pois nos refletores, a tentativa de um arranjo simétrico traz perturbação significativa do campo elétrico pelo sistema de alimentação, fato inexistente no sistema de lentes, uma vez que a energia emanada do alimentador é conduzida entre as placas através da lente. No entanto, lentes são dispositivos de banda limitada, em virtude do índice de refração ser função do comprimento de onda. Esta desvantagem era amenizada pelo processo de seccionamento, que reduzia o comprimento do percurso nas placas de um múltiplo do comprimento de onda. Outro processo consistia no reposicionamento do alimentador, visto que comprimentos de onda diferentes focalizam em pontos diferentes ao longo do eixo da lente. Entretanto, este processo não fornece boa opção em aplicações práticas pela necessidade de movimentação do alimentador para focalização no comprimento de onda desejado.

Ruze apresentou um trabalho [18] que tratava de lentes metálicas para aplicações com grande ângulo de varredura, fato realizável apenas em virtude das características únicas do conjunto de placas metálicas paralelas. As lentes descritas foram chamadas de *constrained* pelo fato de seu modelamento ser obtido num plano normal ao vetor campo elétrico incidente, logo, os raios eram guiados pelas placas metálicas e sua direção de propagação não era função do índice de refração. Desta forma, placas metálicas retangulares eram utilizadas para formar um perfil cilíndrico, e a característica de varredura da estrutura advinha do fato do comprimento dos percursos serem fixos e não dependerem da posição angular do alimentador.

Whitehead [21] protagoniza sofisticado discurso ao estender a teoria de placas metálicas paralelas desenvolvida por Carlson e Heins [5] e apresentar

resultados desta teoria aplicada a lentes plano-elipsoidais, como as lentes de Kock. Estudos desta teoria também foram discutidos por Berz [3], Lengyel [13] e Primich [16], e, como resultados, são apresentados os coeficientes de potência e deslocamento de fase para incidência de uma onda plana na superfície de placas metálicas paralelas. Os resultados obtidos em [21] para uma interface plana foram aplicados à superfície de uma lente pela assunção de que esta superfície poderia ser considerada localmente plana, embora esta seja uma boa aproximação para o comportamento de campo ao longo de uma linha na superfície da lente aonde o vetor campo elétrico fosse paralelo as placas. Seu trabalho fornecia uma ferramenta útil para comparação entre diferentes tipos de perfis de lentes e sugeria certas limitações a eficiência das superfícies das lentes sob análise, pois a distribuição de amplitude observada nos perfis discutidos apresentava uma descontinuidade repentina, causa provável do aumento do nível do lóbulo lateral.

No campo prático, King et al [11] apresentam resultados experimentais para uma lente metálica na banda X e aplicação com polarização circular. A superfície da lente era obtida a partir das considerações reportadas por Kock, e sua construção utilizava guias de onda quadrados permitindo o uso de polarização circular. Foram verificados e apresentados resultados experimentais para o ganho, eficiência, ângulo de meia potência (HPBW), nível de lobos laterais, e comprimento focal ótimo, onde este último era associado as características do diagrama de radiação, para os casos em que temos iluminação no ponto focal e em condição de varredura. Os resultados são apresentados graficamente e provê material para o entendimento do comportamento eletromagnético destas estruturas.

Dion e Ricardi [7] desenvolveram um sistema de múltiplos feixes (*multibeam*) para aplicação satélite capaz de produzir cobertura variável do diagrama de radiação. O conjunto foi projetado para polarização circular e funcionamento na banda X, consistindo de uma lente formada por guias de onda quadrados iluminada por um conjunto de cornetas. As superfícies da lente foram obtidas pela condição de equalização do comprimento do percurso com o percurso de referência, neste caso, o percurso do raio central, e, objetivando dois pontos focais. Resultados teóricos e experimentais são apresentados para o diagrama de radiação nos planos principais.

Um novo método de análise de lentes cilíndricas, como as propostas por Ruze [18], foi exposta por Grun e Lee em [8] e [9]. Neste método o efeito do acoplamento é computado com o auxílio da teoria uniforme assintótica (UAT) e pela teoria espectral da difração (STD). Resultados para sua aplicação às

lentes de Ruze são apresentados e predizem o comportamento da distribuição de potência na abertura da lente. Curvas são apresentadas para o coeficiente de transmissão de potência, eficiência, nível de lóbulo lateral e suas variações com o ângulo de varredura.

Proposta interessante foi descrita por Brown em [4], onde apresentou-se uma alternativa para refletores modelados e conjunto de antenas para conformação de feixe. Uma antena de lentes metálicas na banda C e provimento de um diagrama de radiação cossecante com limite angular de 60° a 80° abaixo do horizonte para um sistema de radar. A técnica de *Woodward-Levinson* foi utilizada para determinação da distribuição de amplitude e fase requerida na abertura da antena que consistia de um *pillbox* com 90° de ângulo de *flare*, e das placas metálicas. O posicionamento e comprimento das placas foi inicialmente determinado por ótica geométrica (GO) e teoria de guia de ondas. Posteriormente estes valores eram ajustados experimentalmente até a obtenção de um diagrama satisfatório.

Aplicação para recepção de sinais de TV provido por satélite geoestacionário operando na frequência de 4 GHz foi testada experimentalmente por Shuter et al em [19]. A lente foi construída de forma similar a proposta de Kock, sendo aplicado seccionamento da parte iluminada pelo alimentador. A alimentação era efetuada por uma corneta piramidal e apresentou bons resultados para a aplicação proposta.

1.1 Motivação

A utilização de placas metálicas com perfil diferenciado permite a construção de lentes com excelentes características diretivas nos planos vertical e horizontal, permitindo o projeto de antenas transmissoras com boa cobertura sobre certas regiões e reduzida cobertura sobre outras. No modo receptor, sinais de determinadas direções podem ser selecionados ou discriminados de acordo com a sua direção. Esta característica eletromagnética, de antena como um filtro espacial, encontra diversas aplicações, de links de satélite, a sensores automobilísticos.

O interesse neste tipo de estrutura vem se mantendo ao longo dos anos, como descrito na introdução, e os trabalhos recentes [10] apontam na direção de aplicações cujas especificações requeiram alto ganho, baixo nível de lóbulo lateral e polarização linear.

Os métodos de síntese e análise de tais estruturas são geralmente bidimensionais, em virtude do aumento do grau de complexidade requerido

para a sua completa caracterização eletromagnética. Métodos numéricos, em sua maioria, são utilizados na obtenção do padrão de difração, como o Método dos Momentos (*Moment Method - MoM*) utilizado por Matsushima em [14] ou na discretização da singularidade da equação integral (*Singular Integral Equations - SIEs*) através de um algoritmo numérico [15]. Adicionalmente, o perfil destas estruturas pode ser determinado para obtenção de ótimo desempenho.

A análise e a otimização de estruturas de lentes é um processo dispendioso computacionalmente, ainda que os avanços tecnológicos dos processadores e computadores acessíveis tenham permitido um grande ganho nesta área. Este desenvolvimento propiciou uma maior utilização de ferramentas computacionais que permitem a implementação de métodos intensos computacionalmente, como o FDTD (*Finite-Difference Time-Domain*), na análise e otimização de estruturas eletromagnéticas, sendo que estas ferramentas conquistaram um razoável grau de confiabilidade ao longo dos anos de seu desenvolvimento.

Entretanto, estas ferramentas ainda consomem tempo de processamento elevado na análise, e, principalmente quando o objetivo é a otimização de parâmetros. Uma forma de minimizar este trabalho reside na obtenção de um modelo inicial a partir de uma técnica simples e dispendiosa e posterior refinamento da solução através de sua otimização.

Desta forma, o objetivo deste trabalho será discutir um modelo de lente metálica simples, abordado pelo viés da ótica geométrica, que permita a obtenção de suas características eletromagnéticas completas para comparação com a análise eletromagnética efetuada com ferramenta computacional mais rigorosa, do ponto de vista de análise.

1.2

Estrutura do Trabalho

O trabalho foi estruturado de forma a permitir sua compreensão a partir da leitura sequencial dos capítulos. Desta forma, o leitor é inicialmente situado no contexto global do trabalho neste presente capítulo, intitulado Introdução.

No capítulo 2, Lentes Metálicas, é apresentado uma visão geral dos tipos de lentes metálicas e o tratamento simplificado dado para seu projeto e análise. Apresenta ainda comparações com o caso de lentes dielétricas.

No capítulo 3, Teoria de Placas Metálicas Paralelas, discute fatores associados a análise de lentes metálicas não contemplados no capítulo anterior e as consequências oriundas desta análise.

No capítulo 4, Cornetas Setoriais com Lentes, as teorias descritas nos

capítulos anteriores são utilizadas no projeto e análise de lentes metálicas para cornetas setoriais no plano H , sendo apresentados seus resultados e comparações.

No capítulo 5, Cornetas Piramidais com Lentes, as teorias descritas nos capítulos anteriores são utilizadas no projeto e análise de lentes metálicas para cornetas piramidais, sendo apresentados seus resultados e comparações.

O capítulo 6, Conclusão, discute as vantagens e desvantagens observadas na proposta apresentada. Adicionalmente, dá direção para trabalhos futuros com lentes metálicas.