

Otimização Multiobjetivo Aplicada ao Projeto de Antenas Filamentares

R. M. Ramos¹, R. R. Saldanha², R. H. C. Takahashi³, F. J. S. Moreira⁴

¹FACULDADE DE CIÊNCIAS EXATAS DE PEDRO LEOPOLDO – UNIPEL - DEPT. CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO R. TEÓFILO CALAZANS DE BARROS, 100 – 33600-000 – PEDRO LEOPOLDO – MG- BRASIL; ²UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS - ²DEPT. ENG. ELÉTRICA, ³DEPT. MATEMÁTICA, ⁴DEPT.ENG. ELETRÔNICA AV. ANTÔNIO CARLOS, 6627 – 31270-010 – BELO HORIZONTE – MG – BRASIL

Resumo – Esse trabalho apresenta a otimização multiobjetivo de antenas Yagi-Uda, utilizando-se para tanto o Algoritmo Genético Multiobjetivo Real Polarizado (RBMGA) que apresenta uma nova característica: o operador cruzamento polarizado. A utilização deste algoritmo leva a uma melhor estimação do Conjunto Pareto-Ótimo durante a busca multiobjetivo. Para a otimização, utiliza-se a variação dos comprimentos dos elementos e dos distanciamentos entre os mesmos, dentro de uma faixa de operação pré-estabelecida. Como resultado, obtivemos antenas cuja geometria possui performance superior àquelas encontradas na literatura disponível.

Palavras-Chaves – Algoritmos Genéticos, Métodos de Otimização, Antenas.

I. INTRODUÇÃO

O design ótimo de antena têm atraído a atenção de vários pesquisadores nas últimas décadas, especialmente para aplicações sem fio que demandam um espectro de frequências relativamente grande. Geralmente, a otimização tinha como objetivo diretividade máxima e casamento de impedâncias, aliado à requisitos de níveis específicos de emissões de energia pelos lóbulos laterais. Um amplo e variado conjunto de técnicas de otimização têm sido aplicados no design de antenas filamentosas [1-4]. Para exemplificação, em [1] métodos determinísticos foram utilizados para que se alcançasse somente ganho máximo, enquanto que em [2] foi objetivado além do ganho, um casamento de impedância, com uma dada linha de transmissão. Pela relativa simplicidade geométrica e a grande variedade de medidas e resultados disponíveis na literatura, a otimização de antenas filamentosas foi empregada nesse trabalho.

R. M. Ramos: ramos@cpdee.ufmg.br, Tel: + 55 31 34995481; R. R. Saldanha: rodney@cpdee.ufmg.br, Tel: + 55 31 34995461, F. J. S. Moreira: fernando@eee.ufmg.br, Tel: +55 31 34994861, Fax + 55 31 34995480; R.H.C. Takahashi: taka@mat.ufmg.br.

Devido à quantidade de variáveis de otimização (especialmente para antenas de vários elementos) e restrições impostas sob as características elétricas das antenas, uma boa estratégia para o design de antenas filamentosas pode ser a utilização de técnicas que levam em consideração vários objetivos simultaneamente, em particular pelo fato da sensibilidade das características das antenas com a variação da frequência ao longo da banda de operação.

Isso sugere então a aplicação técnicas multiobjetivo, não consideradas nos trabalhos anteriores [1-4].

A área da otimização multiobjetivo utilizando os algoritmos genéticos têm atraído a atenção de vários pesquisadores nos últimos anos. Esse artigo apresenta a aplicação de um algoritmo genético multiobjetivo na otimização de antenas. Tal algoritmo ainda apresenta uma nova característica: o cruzamento polarizado, isto é, uma característica que produz novos indivíduos que provavelmente se situarão em mais próximos ao indivíduo gerador de melhor performance. Isso faz que o Algoritmo Genético Multiobjetivo Real Polarizado (RBMGA) [5] alcance um conjunto Pareto-Ótimo com aprimorado esforço computacional e melhor resolução. Para o problema em questão, a otimização de uma antena Yagi-Uda, o RBMGA foi aplicado com sucesso, levando a antenas de performance superior àquelas encontradas na literatura [1-4].

II. PROBLEMA MULTIOBJETIVO

O problema multiobjetivo pode ser definido com segue. Dado um conjunto de funções objetivo a ser minimizado, f_i , $i = 1, \dots, m$, poderá ser encontrado um conjunto P de soluções que satisfaçam :

$$P = \{ x \in F \mid \text{não existe } y \in F \text{ tal que } f(y) \leq f(x) \text{ e } f(y) \neq f(x) \}, \quad (1)$$

no qual F denota o conjunto de busca viável. O conjunto P contém as soluções eficientes do problema, e é chamado de *Conjunto Pareto-Ótimo*.

No presente artigo, as funções objetivo são conjuntos de especificações para a antena, objetivando uma maximização da diretividade, razão frente-costas e

casamento de impedâncias; e a minimização dos ângulos de meia potência nos planos E e H, em três frequências diferentes através da faixa de operação, como será detalhado na Seção IV.

III. ALGORITMO GENÉTICO MULTI OBJETIVO REAL POLARIZADO

No presente trabalho, uma nova característica para o cruzamento será aplicada para a construção do algoritmo genético multiobjetivo. O operador utiliza informações sobre a diferença entre os valores de retorno das funções objetivo dos dois indivíduos que compõe o par selecionado, na geração de novos indivíduos. Essa medida pode ser interpretada como “*long-term gradient*”. Como a falta de informações sobre o gradiente é a causa primária da baixa eficiência computacional, o novo operador leva a uma lagoritmo mais eficiente. O Conjunto Pareto-Ótimo é encontrado com menor esforço computacional e com melhor resolução.

O algoritmo aplicado é descrito como segue. Inicialmente a população é dividida em dois grupos, e para cada par formado, é verificada a ocorrência do cruzamento. Seja $J(x)$ o valor de retorno da função objetivo do indivíduo e , considere os vetores x_1 e x_2 representando dois indivíduos, de forma que $J(x_2) < J(x_1)$. A operação de cruzamento polarizado é definida como:

$$x_g = \alpha x_1 + (1 - \alpha)x_2 \quad (2)$$

com α escolhido no intervalo $[-0.1; 1.1]$, de acordo com a distribuição de probabilidades definida por:

$$\alpha = 1.4\beta_1\beta_2 - 0.2 \quad (3)$$

onde β_1 and β_2 são variáveis aleatórias com distribuição de probabilidades uniforme dentro do domínio definido $[0; 1]$. Tais condições são de tal forma que determinam uma distribuição de probabilidades quadrática para α .

Somente um dos indivíduos gerados será fruto de cruzamento polarizado, caso este venha a ocorrer. O outro sempre será escolhido sem polarização. Os outros operadores são conforme definidos por [6,7] em seus respectivos trabalhos.

No caso de um indivíduo sair da região admissível, o método da reflexão será aplicado para forçar os indivíduos a para dentro o espaço viável [8]. Para a reflexão, no limite inferior (x_L), a operação é definida como:

$$x_r = x_L + |x - x_L| \quad (4)$$

onde x é o indivíduo fora da região admissível e x_r representa o indivíduo resultante após a reflexão. Para o limite superior (x_U):

$$x_r = x_U - |x - x_U| \quad (5)$$

O operador mutação também poderá ser aplicado conforme probabilidade de ocorrência. Neste caso, a operação é definida por $\delta + x$, onde x representa o indivíduo dentro da região admissível e o veotr δ é definido como:

$$\delta_i = 0.05 \beta_i (x_r)_i \quad (6)$$

em que β_i representa um número aleatório com distribuição Gaussiana, média zero, e variância igual a um e i mostra que o vetor é diferente a cada mutação. O vetor x_r é o vetor de range entre os limites mínimo (x_L) e máximo(x_U).

IV. OTIMIZAÇÃO MULTI OBJETIVO DA ANTENA YAGI-UDA

Nesta seção, mostraremos com o algoritmo genético multiobjetivo será aplicado à otimização de uma antena Yagi-Uda de seis elementos, como ilustrado na Fig. 1. O elemento centrado na origem é o refletor, sguido pelo elemento excitador, alimentado pelo centro e os quatro diretores. As distâncias entre os elementos (5 no total) e os comprimentos de cada um dos elementos são os parâmetros a serem otimizados. O raio utilizado para todos os elementos é igual a 0.003377λ .

As especificações de projeto a respeito do Diagrama de Radiação da antena são as maiores diretividade e razão frente-costas possíveis, com os ângulos de meia potência mais estreitos nos planos E e H. A resistência de entrada deverá ter o valor o mais próximo possível de 50Ω . Estas imposições são para três frequências diferentes (inferior, central e superior), numa largura de banda de 5%, cuja frequência central é de 300 MHz.

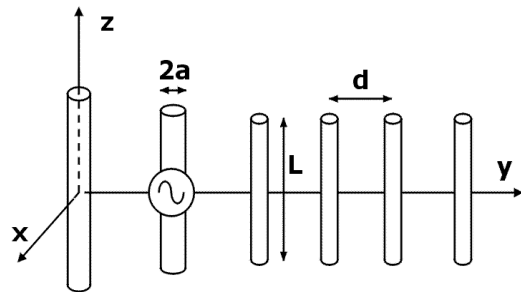


Fig. 1 – Configuração de uma antena Yagi-Uda de seis elementos

As características elétricas da antena, necessárias para atender aos objetivos, serão analisadas numericamente através do Método de Momentos (MoM) [9]. Para a presente geometria, a densidade de corrente elétrica no p-ésimo elemento ($p=1, \dots, 6$) pode ser expandida de acordo com [9]:

$$I_p(z) = \sum_{n=1}^N I_{np} \cos \left[(2n-1) \frac{\pi z}{L_p} \right], \quad (7)$$

onde N é um número inteiro ímpar e L_p é o comprimento do p -ésimo elemento. Neste trabalho, foi adotado para todos os elemntos um $N = 8$. A expansão em (7) é escolhida de forma a que $I_p(z)$ vá a zero nas extremidades dos elementos, forçando a condição de continuidade [9]. Também, note-se que a variação azimutal está sendo desprezada, pelo fato de o diâmetro ser muito pequeno quando comparado ao comprimento de onda. A equação integral a ser avaliada é dada por [9]:

$$E_z(x,y,z) = -j \frac{\eta}{4\pi k} \sum_{p=1}^{D+2} \sum_{n=1}^N I_{np} \int_{-L_p/2}^{L_p/2} G(x,y,z|x',y',z') \cos \left[(2n-1) \frac{\pi z'}{L_p} \right] dz' \quad (8)$$

onde

$$G(x,y,z|x',y',z') = \frac{e^{-jkr}}{r^5} \left[(1 + jkr)(2r^2 - 3a^2) + k^2 a^2 r^2 \right] \quad (9)$$

$$r = \sqrt{(x'-x)^2 + (y'-y)^2 + (z'-z)^2 + a^2} \quad (10)$$

e $2a$ é o diâmetro dos elementos (veja Fig. 1). A equação (8) é numericamente avaliada pela técnica do MoM utilizando-se “*point matching*”, conforme discutido em [8]. Depois da determinação dos coeficientes I_{np} , a representação da corrente elétrica dada por (7) é aplicada para que se determine o campo radiado e, consequentemente, o diagrama de radiação da antena e a resistência de entrada [9].

V. RESULTADOS NUMÉRICOS

Forma alcançadas 192 antenas no Conjunto Pareto-Ótimo que, de acordo com a equação (1) são antenas candidatas a ótimo. Depois dessa etapa, vem a iteração com o Decisor, ou projetista, agente o qual escolherá dentre essas antenas, aquelas que atendem aos requisitos para a aplicação específica.

Os requisitos necessários para o projeto foram: diretividade e razão frente-costas maiores que 10 dB; os ângulos de meia potência deveriam ser menores que 60° nos planos E e H. A resistência de entrada deveria estar na faixa entre 45 e 55 Ω .

Quinze antenas foram selecionadas dentro do Conjunto Pareto-Ótimo. Na Tabela I estão apresentadas três dentre as antenas escolhidas. Os parâmetros destas antenas estão mostrados na tabela II. Os comprimentos e espaçamentos entre os elementos dos resultados otimizados estão mostrados na tabela III, onde uma das 15 antenas é comparada com outras, encontradas na literatura [3,4].

Na tabela IV, podemos ver a comparação entre os parâmetros encontrados e os parâmetros das antenas encontradas na literatura.

A otimização alcançou antenas com performance superior. As mesmas apresentaram-se boa performance em todos os objetivos na faixa de frequências determinada.

TABELA I
COMPRIMENTOS E DISTÂNCIAMENTOS DAS 3 ANTENAS ESCOLHIDAS A PARTIR DO CONJUNTO PARETO-ÓTIMO. RESULTADOS EM λ (A 300 MHz).

Este Trabalho					
Comp.	Dist.	Comp.	Dist.	Comp.	Dist.
0.5084	-	0.5089	-	0.5184	-
0.4890	0,2450	0.4824	0.2208	0.4943	0.2445
0.4382	0,1486	0.4331	0.1428	0.4383	0.1480
0.4047	0,2830	0.4018	0.2542	0.4070	0.2794
0.4325	0,3844	0.4149	0.3705	0.4254	0.3627
0.4198	0,2438	0.3903	0.2699	0.4123	0.2657

TABELA II
(1) FREQUÊNCIA NORMALIZADA, (2) RAZÃO FRENTE-COSTAS EM dB, (3) DIRETIVIDADE EM dB, ÂNGULOS DE MEIA POTÊNCIA EM (°) NOS PLANOS (4) E-E (5) H-E (6) RESISTÊNCIA DE ENTRADA (Ω).

RBMGA									
(1)	0.975	1	1.025	0.975	1	1.025	0.975	1	1.025
(2)	21.42	17.55	12.37	18.82	18.60	15.75	22.90	17.62	12.66
(3)	11.00	11.64	11.50	10.51	11.04	11.59	10.89	11.60	11.92
(4)	48.40	44.60	39.54	52.31	49.79	46.69	49.66	46.22	42.00
(5)	55.28	49.86	43.09	61.46	57.48	52.89	57.21	52.15	46.35
(6)	52.02	49.64	49.94	50.10	50.13	49.99	52.77	49.04	53.89

TABELA III
COMPRIMENTOS E DISTÂNCIAS ENTRE OS ELEMENTOS. RESULTADOS EM λ (A 300 MHz).

RBMGA		Ref. [3]		Ref. [4]	
Comp.	Dist.	Comp.	Dist.	Comp.	Dist.
0,5084	-	0,478	-	0,50	-
0,4890	0,2450	0,450	0,182	0,46	0,22
0,4382	0,1486	0,448	0,152	0,40	0,16
0,4047	0,2830	0,434	0,229	0,40	0,29
0,4325	0,3844	0,422	0,435	0,39	0,31
0,4198	0,2438	0,440	0,272	0,33	0,29

TABELA IV
(1) FREQUÊNCIA NORMALIZADA, (2) RAZÃO FRENTE-COSTAS EM dB, (3) DIRETIVIDADE EM dB, ÂNGULOS DE MEIA POTÊNCIA EM (°) NOS PLANOS (4) E-E (5) H-E (6) RESISTÊNCIA DE ENTRADA (Ω).

	Este Trabalho			Ref. [3]			Ref. [4]		
(1)	0.975	1	1.025	0.975	1	1.025	0.975	1	1.025
(2)	21.42	17.55	12.37	16.86	10.52	10.33	14.31	15.47	15.55
(3)	11.00	11.65	11.50	11.79	12.66	11.60	9.475	9.702	10.02
(4)	48.40	44.60	39.54	44.72	40.53	35.96	56.75	55.23	53.23
(5)	55.28	49.86	43.09	50.15	44.47	40.05	69.15	66.33	62.92
(6)	52.02	49.64	49.94	21.02	49.49	1.849	54.44	62.05	68.33

As figuras 2, 3, e 4 mostram a diretividade da primeira antena obtida da otimização neste trabalho, mencionada na tabela II, nas três frequências. A figura 5 mostra os resultados para diretividade e resistência de entrada ao longo da faixa de operação. Os resultados encontrados são comparados os do NEC2, que é uma ferramenta padrão, e mostraram boa concordância.

VI. CONCLUSÕES

A utilização de técnicas multiobjetivo e algoritmos genéticos se mostrou bastante eficiente no design de antenas filamentosares, no presente caso, uma antena Yagi-Uda. A utilização desta técnica foi a chave para a obtenção de antenas de performance superior na faixa de frequências desejada.

A conjunto Pareto-Ótimo se mostrou bastante variado e era possuidor de várias antenas que atendiam aos requisitos de projeto, viabilizando assim, uma melhor tomada de decisão segundo critérios mais específicos para cada aplicação. O operador cruzamento polarizado se mostrou eficiente na função desempenhada.

REFERÊNCIAS

- [1] D. K. Cheng and C. A. Chen, "Optimum spacings for Yagi-Uda arrays", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-21, pp. 615—623, Sept. 1973.
- [2] C. A. Chen and D. K. Cheng, "Optimum element lengths for Yagi-Uda arrays", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-23, pp. 8—15, Jan. 1975.
- [3] E. A. Jones and W. T. Joines, "Design of Yagi-Uda antennas using genetic algorithm", *IEEE Antennas Propagat. Magazine*, vol. 39, pp. 1386—1391, Sept. 1997.
- [4] D. Correa, A. J. M. Soares, and M. A. B. Terada, "Optimization of gain, impedance and bandwidth in Yagi-Uda antennas using genetic algorithm", in *SBMO/IEEE MTT-S IMOC'99 Proceedings*, pp. 41—44, Rio de Janeiro, Brazil, 1999.
- [5] R. A. Meneguim, "Análise de sensibilidade de soluções ótimas baseada em elipsóides mínimos", Dissertação de Mestrado, PPGEE – UFMG, Belo Horizonte, Brasil, 1999.
- [6] D. E. Goldberg, *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*. Reading, MA: Addison-Wesley Publishing Co., 1989.
- [7] J. H. Holland, *Adaptation in Natural and Artificial Systems*, Ann Arbor, MI: University of Michigan Press.
- [8] R. M. Ramos, "Utilização de Algoritmos Genéticos em Otimização Multiobjetivo de Antenas Yagi-Uda", Dissertação de Mestrado, PPGEE - UFMG, Belo Horizonte, Brasil, 2002.
- [9] G. A. Thiele, "Analysis of Yagi-Uda type Antennas", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-17, nº 01, pp. 24-31, Jan. 1969.

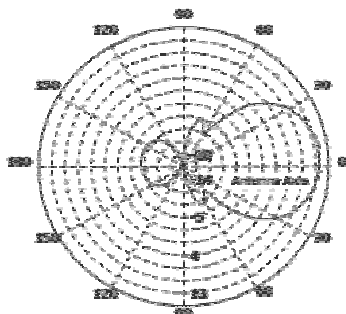


FIG. 2 – DIRETIVIDADE NO PLANO E.
FREQUÊNCIA: 292.5 MHz

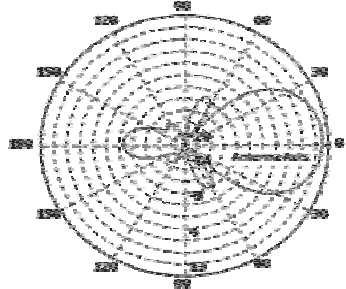


FIG. 3 – DIRETIVIDADE NO PLANO E.
FREQUÊNCIA: 300 MHz

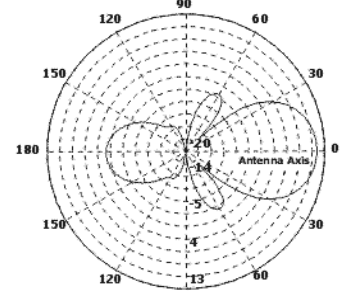


FIG. 4 – DIRETIVIDADE NO PLANO E.
FREQUÊNCIA: 307.5 MHz

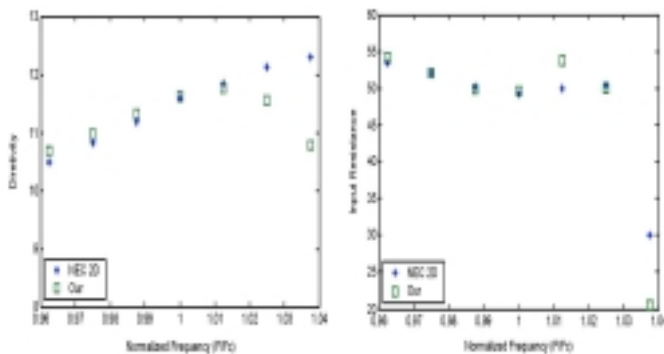


FIG. 5 – DIRETIVIDADE E RESISTÊNCIA DE ENTRADA AO LONGO DA FAIXA
DE OPERAÇÃO