

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**Otimização do Controle Eletrônico do Diagrama de Radiação  
de Arranjos de Antenas Usando Algoritmos Genéticos  
com Codificação Real**

**Leonardo Wayland Torres Silva**

**Orientador: *Prof. Dr. Adaildo Gomes d'Assunção***  
**Co-Orientador: *Prof. Dr. Sandro Gonçalves da Silva***

*Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências.*

**Natal-RN, 2006**

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**Otimização do Controle Eletrônico do Diagrama de Radiação  
de Arranjos de Antenas Usando Algoritmos Genéticos  
com Codificação Real**

**Leonardo Wayland Torres Silva**

**Orientador: *Prof. Dr. Adaildo Gomes d'Assunção***

**Co-Orientador: *Prof. Dr. Sandro Gonçalves da Silva***

**Área de Concentração: *Telecomunicações***

**Natal-RN, 2006**

Divisão de Serviços Técnicos

Catálogo da Publicação na Fonte. UFRN / Biblioteca Central Zila Mamede

Silva, Leonardo Wayland Torres.

Otimização do controle eletrônico do diagrama de radiação de arranjos de antenas usando algoritmos genéticos com codificação real / Leonardo Wayland Torres Silva. – Natal [RN], 2006.  
165 f.

Orientador: Prof<sup>o</sup> Dr. Adaildo Gomes D'Assunção.  
Co-Orientador: Prof<sup>o</sup> Dr. Sandro Gonçalves da Silva.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica.

1. Arranjos de Antenas - Dissertação. 2. Algoritmos genéticos - Dissertação. 3. Múltiplos objetivos de otimização - Dissertação. I. D'Assunção, Adaildo Gomes. II. Silva, Sandro Gonçalves. III. Título.

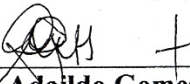
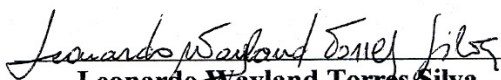
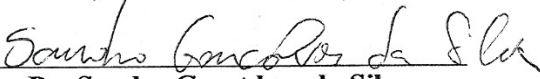
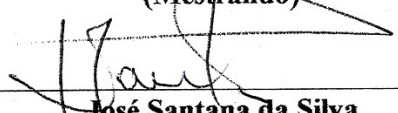

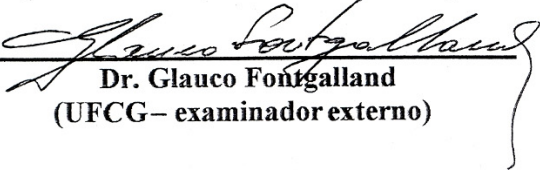
RN/UF/BCZM

CDU 621.396.67

**Otimização do Controle Eletrônico do Diagrama de Radiação  
de Arranjos de Antenas Usando Algoritmos Genéticos  
com Codificação Real**

**Leonardo Wayland Torres Silva**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências, e aprovada em 17 de fevereiro de 2006 pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

 _____ <b>Dr. Adaildo Gomes d'Assunção</b> (UFRN - Orientador)	 _____ <b>Leonardo Wayland Torres Silva</b> (Mestrando)
 _____ <b>Dr. Sandro Gonçalves da Silva</b> (UFRN - Co-orientador)	 _____ <b>José Santana da Silva</b> (Secretário do PPGEE)
 _____ <b>Dr. Luiz Carlos Kretly</b> (UNICAMP - examinador externo)	
 _____ <b>Dr. Glauco Fontgalland</b> (UFCG - examinador externo)	

*“Como a estrutura do mundo é a mais perfeita  
e foi estabelecida pelo mais sábio Criador,  
tudo que ocorre nesse mundo obedece  
a algum princípio de máximo  
ou de mínimo”.*

*Leonhard Euler (1707 – 1783)*

## Agradecimentos

Este trabalho analisou arranjos de antenas em dezenas de situações de operação, para as quais foram desenvolvidos em torno de 30 diferentes algoritmos genéticos, usando centenas de linhas de código, 7 computadores e 365 horas de processamento catalogadas, superando 700 horas ao todo, perfazendo mais de 800 simulações, que geraram aproximadamente 1500 gráficos. Por outro lado, a edição deste texto consumiu mais de 42.000 palavras, 2.800 alterações e 500 horas, além de N horas pesquisando referências, catalogando dados em planilhas e fazendo figuras. Portanto, agradeço a confiança e a paciência que todos tiveram, pois, mesmo quando estive ausente, estiveram presentes.

Com respeito às tarefas realizadas, agradeço aos professores Adaildo Gomes d'Assunção e Sandro Gonçalves da Silva, pela rica orientação com idéias e materiais, além do acompanhamento e incentivo que permitiram e mantiveram meu retorno à pós-graduação. Particularmente, agradeço também ao meu irmão, Emídio Wayland Torres Silva, pela valiosa ajuda com o tratamento computacional.

Por fim, mas principalmente, agradeço a Ele, afinal de contas, só Deus mesmo...

## Resumo

Os arranjos de antenas podem fornecer uma diretividade elevada e controlável, que é útil em estações rádio base, sistemas de radares e enlaces ponto-a-ponto ou de satélite. A otimização do projeto do arranjo é uma tarefa usualmente difícil, devido à característica não-linear de múltiplos objetivos, requisitando o uso de ferramentas computacionais, tais como os algoritmos genéticos. Nesse contexto, com o propósito de otimizar o controle eletrônico do diagrama de radiação de arranjos de antenas, através de algoritmos genéticos com codificação real, foi desenvolvida uma ferramenta computacional capaz de posicionar o lóbulo principal, reduzir o nível dos lóbulos laterais, rejeitar interferências com direções de chegada conhecidas e melhorar a área de cobertura da antena. Para tanto, foram empregados conceitos de teoria de antenas e métodos de otimização, com ênfase nos algoritmos genéticos, permitindo desenvolver a ferramenta com formas criativas de codificação e recombinação, o que é uma das mais importantes contribuições deste trabalho. A eficiência da ferramenta desenvolvida é testada e validada em aplicações de antenas e propagação. Foi observado que os resultados numéricos atendem aos requisitos especificados, demonstrando a habilidade e capacidade da ferramenta desenvolvida para lidar com os problemas considerados, como também uma grande perspectiva para aplicações em trabalhos futuros.

**Palavras-Chave** – Arranjos de antenas, algoritmos genéticos, múltiplos objetivos de otimização.



## **Abstract**

Antenna arrays are able to provide high and controlled directivity, which are suitable for radiobase stations, radar systems, and point-to-point or satellite links. The optimization of an array design is usually a hard task because of the non-linear characteristic of multiobjective, requiring the application of numerical techniques, such as genetic algorithms. Therefore, in order to optimize the electronic control of the antenna array radiation pattern through genetic algorithms in real codification, it was developed a numerical tool which is able to positioning the array major lobe, reducing the side lobe levels, canceling interference signals in specific directions of arrival, and improving the antenna radiation performance. This was accomplished by using antenna theory concepts and optimization methods, mainly genetic algorithms ones, allowing to develop a numerical tool with creative genes codification and crossover rules, which is one of the most important contribution of this work. The efficiency of the developed genetic algorithm tool is tested and validated in several antenna and propagation applications. It was observed that the numerical results attend the specific requirements, showing the developed tool ability and capacity to handle the considered problems, as well as a great perspective for application in future works.

**Keywords** – Antenna arrays, genetic algorithms, multiobjective optimization.

# Sumário

<b>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO 2 - ARRANJOS DE ANTENAS .....</b>	<b>4</b>
<b>2.1 - Introdução .....</b>	<b>4</b>
<b>2.2 - Características de Radiação de Antenas .....</b>	<b>5</b>
<b>2.3 - Tipos de Antenas.....</b>	<b>7</b>
<b>2.3.1 - Antena Dipolo.....</b>	<b>7</b>
<b>2.3.2 - Antena Espira.....</b>	<b>8</b>
<b>2.3.3 - Antena Yagi-Uda.....</b>	<b>8</b>
<b>2.3.4 - Antena Log-Periódica .....</b>	<b>9</b>
<b>2.3.5 - Antena Helicoidal.....</b>	<b>10</b>
<b>2.3.6 - Antena Corneta .....</b>	<b>11</b>
<b>2.3.7 - Antena com Placa Refleitora.....</b>	<b>11</b>
<b>2.3.8 - Antena Parabólica.....</b>	<b>12</b>
<b>2.3.9 - Antena Abertura (“Fenda”).....</b>	<b>13</b>
<b>2.3.10 - Antena de Microfita .....</b>	<b>14</b>
<b>2.4 - Estudo de Arranjos de Antenas.....</b>	<b>15</b>
<b>2.4.1 - Conceitos de Arranjos .....</b>	<b>15</b>
<b>2.4.2 - Arranjos de Elementos Isotrópicos.....</b>	<b>18</b>
<b>2.4.3 - Arranjos de Elementos Não-Isotrópicos .....</b>	<b>20</b>
<b>2.5 - Conclusões .....</b>	<b>22</b>
<b>CAPÍTULO 3 - ALGORITMOS GENÉTICOS .....</b>	<b>23</b>
<b>3.1 - Introdução .....</b>	<b>23</b>
<b>3.2 - Métodos de Otimização.....</b>	<b>24</b>
<b>3.3 - Os Algoritmos Genéticos e a Natureza .....</b>	<b>25</b>
<b>3.4 - Classificação dos Algoritmos Genéticos .....</b>	<b>27</b>
<b>3.5 - Estrutura e Funcionamento de Algoritmos Genéticos.....</b>	<b>28</b>
<b>3.5.1 - Definição e Características Básicas .....</b>	<b>28</b>
<b>3.5.2 - Codificação .....</b>	<b>30</b>
<b>3.5.2.1 - Considerações Gerais .....</b>	<b>30</b>
<b>3.5.2.2 - Codificação Binária.....</b>	<b>30</b>
<b>3.5.2.3 - Codificação Gray .....</b>	<b>31</b>
<b>3.5.2.4 - Codificação Real .....</b>	<b>31</b>
<b>3.5.3 - Inicialização.....</b>	<b>32</b>
<b>3.5.4 - Avaliação .....</b>	<b>32</b>
<b>3.5.5 - Seleção .....</b>	<b>33</b>
<b>3.5.5.1 - Considerações Gerais .....</b>	<b>33</b>
<b>3.5.5.2 - Dizimação ou Linha de Corte .....</b>	<b>33</b>

3.5.5.3 - Roleta .....	34
3.5.5.4 - Torneio Estocástico .....	35
<b>3.5.6 - Operadores Genéticos .....</b>	<b>36</b>
3.5.6.1 - Considerações Gerais .....	36
3.5.6.2 - Recombinação.....	37
3.5.6.3 - Mutação.....	39
<b>3.5.7 - Condições de Término.....</b>	<b>40</b>
<b>3.6 - Implementação de Algoritmos Genéticos.....</b>	<b>41</b>
<b>3.6.1 - Problemas Práticos e Soluções.....</b>	<b>41</b>
3.6.1.1 - Considerações Gerais .....	41
3.6.1.2 - Valores de Parâmetros.....	41
3.6.1.3 - Erros de Amostragem.....	41
3.6.1.4 - Convergência Prematura.....	42
3.6.1.5 - Tempo de Processamento .....	42
3.6.1.6 - Problemas Enganadores.....	43
<b>3.6.2 - Alternativas de Solução.....</b>	<b>43</b>
3.6.2.1 - Considerações Gerais .....	43
3.6.2.2 - Mapeamento Linear.....	43
3.6.2.3 - “Janela” de Aptidão.....	44
3.6.2.4 - Graduação.....	44
3.6.2.5 - Compartilhamento.....	44
3.6.2.6 - Amostragem Estocástica sem Reposição.....	45
3.6.2.7 - Resto Estocástico .....	45
3.6.2.8 - Eliminação de Duplicatas .....	46
3.6.2.9 - Elitismo .....	46
3.6.2.10 - Geração Contínua.....	46
3.6.2.11 - Dizimação Periódica.....	46
3.6.2.12 - Super-Seleção .....	47
3.6.2.13 - Parâmetros Controlados.....	47
3.6.2.14 - Hibridização.....	47
3.6.2.15 - Processamento Mestre-Escravo .....	48
3.6.2.16 - Processamento Insular .....	48
3.6.2.17 - Processamento Celular .....	49
3.6.2.18 - Computadores Genéticos.....	49
<b>3.7 - Aplicações de Algoritmos Genéticos.....</b>	<b>49</b>
<b>3.7.1 - Considerações Iniciais.....</b>	<b>49</b>
<b>3.7.2 - Aplicações Gerais .....</b>	<b>50</b>
<b>3.7.3 - Aplicações em Engenharia Elétrica .....</b>	<b>51</b>
3.7.3.1 - Telecomunicações .....	51
3.7.3.2 - Eletrônica.....	53
3.7.3.3 - Sistemas de Potência .....	54
3.7.3.4 - Automação e Controle.....	55
<b>3.8 - Algoritmos Genéticos: Teoria e Prática .....</b>	<b>56</b>
<b>3.8.1 - Teorias Sugeridas.....</b>	<b>56</b>

<b>3.8.2 - Regras Práticas .....</b>	<b>57</b>
<b>3.8.3 - Perspectivas .....</b>	<b>57</b>
<b>3.9 - Conclusões .....</b>	<b>58</b>
<b>CAPÍTULO 4 - APLICAÇÕES PROPOSTAS.....</b>	<b>59</b>
<b>4.1 - Introdução .....</b>	<b>59</b>
<b>4.2 - Controle Eletrônico do Diagrama de Radiação .....</b>	<b>60</b>
<b>4.2.1 - Considerações Iniciais.....</b>	<b>60</b>
<b>4.2.2 - Métodos Convencionais.....</b>	<b>60</b>
4.2.2.1 - Considerações Gerais .....	60
4.2.2.2 - Arranjo Uniforme.....	61
4.2.2.3 - Arranjo Binomial .....	61
4.2.2.4 - Arranjo Dolph-Tschebyscheff .....	61
<b>4.2.3 - Método dos Algoritmos Genéticos .....</b>	<b>62</b>
<b>4.3 - Descrição das Aplicações Propostas .....</b>	<b>63</b>
<b>4.3.1 - Considerações Iniciais.....</b>	<b>63</b>
<b>4.3.2 - Posicionamento do Feixe e Redução de Radiações Indesejáveis .....</b>	<b>63</b>
<b>4.3.3 - Rejeição de Interferências com Direções de Chegada Conhecidas .....</b>	<b>66</b>
<b>4.3.4 - Supressão de Regiões Sem Cobertura .....</b>	<b>69</b>
<b>4.4 - Conclusões .....</b>	<b>74</b>
<b>CAPÍTULO 5 - SIMULAÇÕES E RESULTADOS .....</b>	<b>75</b>
<b>5.1 - Introdução .....</b>	<b>75</b>
<b>5.2 - Ambiente Computacional.....</b>	<b>76</b>
<b>5.2.1 - Considerações Iniciais.....</b>	<b>76</b>
<b>5.2.2 - Histórico .....</b>	<b>76</b>
<b>5.2.3 - Características Funcionais.....</b>	<b>77</b>
<b>5.2.4 - Condições de Uso.....</b>	<b>78</b>
<b>5.2.5 - Considerações do Uso do Scilab.....</b>	<b>79</b>
<b>5.3 - Ferramenta Computacional O3AG.....</b>	<b>80</b>
<b>5.3.1 - Considerações Iniciais.....</b>	<b>80</b>
<b>5.3.2 - Estrutura do AG da Ferramenta O3AG .....</b>	<b>82</b>
<b>5.3.3 - Codificação .....</b>	<b>83</b>
<b>5.3.4 - Inicialização.....</b>	<b>84</b>
<b>5.3.5 - Avaliação .....</b>	<b>86</b>
5.3.5.1 - Considerações Gerais .....	86
5.3.5.2 - Posicionamento do Feixe e Redução de Radiações Indesejáveis .....	87
5.3.5.3 - Rejeição de Interferências com Direções de Chegada Conhecidas .....	89
5.3.5.4 - Supressão de Regiões Sem Cobertura .....	91
<b>5.3.6 - Seleção .....</b>	<b>93</b>
<b>5.3.7 - Recombinação .....</b>	<b>95</b>
<b>5.3.8 - Mutação.....</b>	<b>98</b>
<b>5.3.9 - Substituição .....</b>	<b>99</b>
<b>5.3.10 - Condições de Término.....</b>	<b>100</b>

<b>5.4 - Simulações e Resultados das Aplicações Propostas .....</b>	<b>103</b>
<b>5.4.1 - Considerações Iniciais .....</b>	<b>103</b>
<b>5.4.2 - Posicionamento do Feixe e Redução de Radiações Indesejáveis .....</b>	<b>103</b>
5.4.2.1 - Condições de Operação para os Testes.....	103
5.4.2.2 - Resultados das Simulações .....	105
<b>5.4.3 - Rejeição de Interferências com Direções de Chegada Conhecidas .....</b>	<b>109</b>
5.4.3.1 - Condições de Operação para os Testes.....	109
5.4.3.2 - Resultados das Simulações .....	112
<b>5.4.4 - Supressão de Regiões Sem Cobertura .....</b>	<b>119</b>
5.4.4.1 - Condições de Operação para os Testes.....	119
5.4.4.2 - Resultados das Simulações .....	120
<b>5.5 - Conclusões .....</b>	<b>125</b>
<b>CAPÍTULO 6 - CONCLUSÕES .....</b>	<b>126</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>130</b>
<b>APÊNDICE I - DESCRIÇÃO DAS PLANILHAS DOS TESTES .....</b>	<b>134</b>
<b>APÊNDICE II - TESTES DA FUNÇÃO O3AG VERSÃO 1.0 .....</b>	<b>137</b>
<b>APÊNDICE III - TESTES DA FUNÇÃO O3AG VERSÃO 1.1.....</b>	<b>143</b>
<b>APÊNDICE IV - TESTES DA FUNÇÃO O3AG VERSÃO 2.0.....</b>	<b>154</b>
<b>APÊNDICE V - TESTES DA FUNÇÃO O3AG VERSÃO 2.1 .....</b>	<b>158</b>
<b>APÊNDICE VI - TESTES DA FUNÇÃO O3AG VERSÃO 3.0.....</b>	<b>163</b>
<b>APÊNDICE VII - TESTES DA FUNÇÃO O3AG VERSÃO 3.1 .....</b>	<b>164</b>

## Lista de Figuras

<b>Figura 2.1</b> – Diagrama de radiação no plano E do dipolo de meio comprimento de onda. ...	5
<b>Figura 2.2</b> – Antena dipolo filamental. ....	7
<b>Figura 2.3</b> – Antena espira circular. ....	8
<b>Figura 2.4</b> – Antena Yagi-Uda. ....	9
<b>Figura 2.5</b> – Antena log-periódica. ....	10
<b>Figura 2.6</b> – Antena helicoidal. ....	10
<b>Figura 2.7</b> – Antena corneta. ....	11
<b>Figura 2.8</b> – Antena com placa refletora de canto de $90^\circ$ . ....	12
<b>Figura 2.9</b> – Antena parabólica. ....	13
<b>Figura 2.10</b> – Antena abertura retangular com distribuição uniforme. ....	14
<b>Figura 2.11</b> – Antena planar de microfita. ....	14
<b>Figura 2.12</b> – Arranjo de dois dipolos infinitesimais (campo distante). ....	15
<b>Figura 2.13</b> – Arranjo linear de N elementos isotrópicos. ....	18
<b>Figura 2.14</b> – Arranjo planar de M x N elementos isotrópicos. ....	20
<b>Figura 2.15</b> – Arranjo planar de microfitas retangulares. ....	22
<b>Figura 3.1</b> – Classificação dos AG's. ....	27
<b>Figura 3.2</b> – Fluxograma de um AG. ....	29
<b>Figura 3.3 (a) e (b)</b> – Linha de corte para a seleção pela técnica da dizimação. (a) Aptidão média menos o desvio padrão. (b) Número fixo de indivíduos. ....	34
<b>Figura 3.4 (a) e (b)</b> – Seleção pela técnica da roleta. (a) Convencional. (b) Ponderada. ...	35
<b>Figura 3.5</b> – Seleção pela técnica do torneio estocástico. ....	35
<b>Figura 3.6</b> – Recombinação para codificação binária, usando dois pontos de corte. ....	38
<b>Figura 3.7</b> – Mutação para codificação binária. ....	39
<b>Figura 4.1</b> – Ilustração do cone de varredura de um radar instalado numa aeronave para fazer inspeção de solo. ....	63
<b>Figura 4.2</b> – Ilustração de uma possível rede com enlaces de visada direta numa região rural. ....	64
<b>Figura 4.3</b> – Representação de uma rede de telefonia fixa rural com WLL-CDMA. ....	68
<b>Figura 4.4</b> – Diagrama de radiação controlado de um arranjo linear de dipolos [5]. ....	70
<b>Figura 5.1</b> – Fluxograma do AG usado na ferramenta O3AG, contendo o bloco de “substituição”. ....	83
<b>Figura 5.2</b> – Indivíduo com codificação real para a primeira aplicação do AG de O3AG. ....	84

<b>Figura 5.3</b> – Evolução da aptidão da população na Versão 1.1 com $\theta_0 = 90^\circ$ . (a) Aptidão máxima. (b) Aptidão média.....	101
<b>Figura 5.4 (a) e (b)</b> – Evolução da aptidão máxima na Versão 1.1. (a) $\theta_0 = 10^\circ$ . (b) $\theta_0 = 30^\circ$ .....	102
<b>Figura 5.4 (c) e (d)</b> – Evolução da aptidão máxima na Versão 1.1. (c) $\theta_0 = 45^\circ$ . (d) $\theta_0 = 60^\circ$ .....	102
<b>Figura 5.5</b> – Detalhe de uma simulação da Figura 5.3 (a), contendo “salto” evolutivo. ...	102
<b>Figura 5.6 (a) e (b)</b> – Direção do lóbulo principal. (a) Teste S. (b) Teste AE.....	104
<b>Figura 5.6 (c) e (d)</b> – Direção do lóbulo principal. (c) Teste AD. (d) Teste AC.....	104
<b>Figura 5.6 (e)</b> – Direção do lóbulo principal. (e) Z.....	104
<b>Figura 5.7 (a) e (b)</b> – Diagrama polar das simulações da Tabela 5.5. (a) Teste S. (b) Teste AE.....	107
<b>Figura 5.7 (c) e (d)</b> – Diagrama polar das simulações da Tabela 5.5. (c) Teste AD. (e) Teste AC.....	107
<b>Figura 5.7 (e)</b> – Diagrama polar das simulações da Tabela 5.5. (e) Teste Z.....	107
<b>Figura 5.8 (a) e (b)</b> – Diagrama cartesiano das simulações da Tabela 5.5. (a) Teste S. (b) Teste AE.....	108
<b>Figura 5.8 (c) e (d)</b> – Diagrama cartesiano das simulações da Tabela 5.5. (c) Teste AD. (e) Teste AC.....	108
<b>Figura 5.8 (e)</b> – Diagrama cartesiano para as simulações da Tabela 5.5. (e) Teste Z. ....	108
<b>Figura 5.9 (a) e (b)</b> – Direções do lóbulo principal e dos sinais interferentes. (a) Teste A. (b) Teste B.....	110
<b>Figura 5.9 (c) e (d)</b> – Direções do lóbulo principal e dos sinais interferentes. (c) Teste C. (d) Teste D.....	110
<b>Figura 5.9 (e) e (f)</b> – Direções do lóbulo principal e dos sinais interferentes. (e) Teste E. (f) Teste F.....	110
<b>Figura 5.9 (g) e (h)</b> – Direções do lóbulo principal e dos sinais interferentes. (g) Teste G. (h) Teste H.....	111
<b>Figura 5.9 (i) e (j)</b> – Direções do lóbulo principal e dos sinais interferentes. (i) Teste I. (j) Teste J.....	111
<b>Figura 5.9 (k) e (l)</b> – Direções do lóbulo principal e dos sinais interferentes. (k) Teste K. (l) Teste L.....	111
<b>Figura 5.10 (a) e (b)</b> – Diagrama polar das simulações da Tabela 5.7. (a) Teste A. (b) Teste B. ....	115
<b>Figura 5.10 (c) e (d)</b> – Diagrama polar das simulações da Tabela 5.7. (c) Teste C. (d) Teste D. ....	115
<b>Figura 5.10 (e) e (f)</b> – Diagrama polar das simulações da Tabela 5.7. (e) Teste E. (f) Teste F. ....	115
<b>Figura 5.10 (g) e (h)</b> – Diagrama polar das simulações da Tabela 5.7. (g) Teste G. (h) Teste H. ....	115

<b>Figura 5.10 (i) e (j)</b> – Diagrama polar das simulações da Tabela 5.7. (i) Teste I. (j) Teste J.	116
<b>Figura 5.10 (k) e (l)</b> – Diagrama polar das simulações da Tabela 5.7. (k) Teste K. (l) Teste L.	116
<b>Figura 5.11 (a) e (b)</b> – Diagrama cartesiano das simulações da Tabela 5.7. (a) Teste A. (b) Teste B.	116
<b>Figura 5.11 (c) e (d)</b> – Diagrama cartesiano das simulações da Tabela 5.7. (c) Teste C. (d) Teste D.	117
<b>Figura 5.11 (e) e (f)</b> – Diagrama cartesiano das simulações da Tabela 5.7. (e) Teste E. (f) Teste F.	117
<b>Figura 5.11 (g) e (h)</b> – Diagrama cartesiano das simulações da Tabela 5.7. (g) Teste G. (h) Teste H.	117
<b>Figura 5.11 (i) e (j)</b> – Diagrama cartesiano das simulações da Tabela 5.7. (i) Teste I. (j) Teste J.	118
<b>Figura 5.11 (k) e (l)</b> – Diagrama cartesiano das simulações da Tabela 5.7. (k) Teste K. (l) Teste L.	118
<b>Figura 5.12 (a) e (b)</b> – Direção do feixe, região de cobertura e RMM. (a) Teste A. (b) Teste B.	120
<b>Figura 5.12 (c) e (d)</b> – Direção do feixe, região de cobertura e RMM. (c) Teste C. (d) Teste D.	120
<b>Figura 5.12 (e)</b> – Direção do feixe, região de cobertura e RMM. (e) Teste E.	120
<b>Figura 5.13 (a) e (b)</b> – Diagrama cartesiano das simulações da Tabela 5.9, com ganho Adm. (a) Teste A. (b) Teste B.	123
<b>Figura 5.13 (c) e (d)</b> – Diagrama cartesiano das simulações da Tabela 5.9, com ganho Adm. (c) Teste C. (d) Teste D.	123
<b>Figura 5.13 (e)</b> – Diagrama cartesiano das simulações da Tabela 5.9, com ganho Adm. (e) Teste E.	123
<b>Figura 5.14 (a) e (b)</b> – Diagrama cartesiano das simulações da Tabela 5.9, com ganho em dB. (a) Teste A. (b) Teste B.	124
<b>Figura 5.14 (c) e (d)</b> – Diagrama cartesiano das simulações da Tabela 5.7, com ganho em dB. (c) Teste C. (d) Teste D.	124
<b>Figura 5.14 (e)</b> – Diagrama cartesiano das simulações da Tabela 5.9, com ganho em dB. (e) Teste E.	124
<b>Figura 5.15</b> – Comparação dos diagramas de radiação de [5] e da função O3AG Versão 3.1.	125



## Lista de Tabelas

<b>Tabela 4.1</b> – Frequências dos enlaces da Figura 4.2 para 3 canais possíveis.....	67
<b>Tabela 4.2</b> – Amplitudes normalizadas e fases de alimentação do arranjo linear em [5]...71	
<b>Tabela 5.1</b> – Variáveis declaradas na Inicialização. ....	85
<b>Tabela 5.2</b> – Resumo dos testes das taxas de recombinação e mutação para a Versão 1.0.96	
<b>Tabela 5.3</b> – Resumo dos testes das taxas de recombinação e mutação para a Versão 1.1.97	
<b>Tabela 5.4</b> – Resumo dos resultados dos testes da primeira aplicação com a Versão 1.1. .....	105
<b>Tabela 5.5</b> – Indivíduos de maior aptidão da população nas simulações com melhor resultado em cada teste executado para a Versão 1.1. ....	106
<b>Tabela 5.6</b> – Resumo dos resultados dos testes da segunda aplicação com a Versão 2.1.112	
<b>Tabela 5.7</b> – Indivíduos de maior aptidão da população nas simulações com melhor resultado em cada teste executado para a Versão 2.1. ....	114
<b>Tabela 5.8</b> – Resumo dos resultados dos testes da terceira aplicação com a Versão 3.1..121	
<b>Tabela 5.9</b> – Indivíduos de maior aptidão da população nas simulações com melhor resultado em cada teste executado para a Versão 3.1. ....	122

## Capítulo 1 - Introdução

Muitas aplicações, como estações rádio base, radares e enlaces ponto-a-ponto ou de satélite, necessitam de antenas com diretividade elevada e controlável, o que pode ser feito combinando múltiplos elementos radiadores numa só estrutura, o arranjo de antenas [1-5]. No arranjo, além da disposição espacial, da distância e do tipo das antenas, é possível definir a diretividade através do controle eletrônico dos sinais de excitação, que é robusto e dinâmico. Com o aumento da capacidade e a diminuição dos custos dos processadores digitais, esse controle tem se destacado em sistemas comerciais de comunicação sem fio, sobretudo, o *celular*, já que aumenta a qualidade do sinal recebido (maior diretividade) e a supressão de interferências. Isso otimiza o desempenho do sistema, pois permite estender a área de cobertura e gerar vários feixes para acompanhar as estações móveis, melhorando o uso do espectro disponível e elevando a capacidade de tráfego.

O projeto de arranjos de antenas é fundamental para o êxito da sua implementação, mas, assim como em muitas atividades de engenharia, a otimização do projeto é uma tarefa bastante difícil, que demanda experiência e tempo, requisitando cada vez mais o auxílio de ferramentas que sejam flexíveis, podendo ser aplicadas em diferentes problemas, às custas apenas de pequenas adaptações [6]. Essas características são encontradas no método probabilístico de otimização dos algoritmos genéticos, que permitem convergir para um conjunto ótimo ou quase-ótimo de soluções, através da aplicação da teoria da evolução de Darwin e dos fundamentos da genética [6-10]. Os algoritmos genéticos manipulam inúmeras restrições impostas aos projetos de diversas áreas, sendo uma ferramenta bastante útil não só pela otimização, mas também na flexibilidade, como um método genérico.

Sendo assim, o uso de algoritmos genéticos na otimização do projeto de arranjos de antenas tem crescido bastante, por se tratar de um problema não-linear de múltiplos objetivos, onde métodos determinísticos convencionais ficam vulneráveis a ótimos locais [4, 6-7, 11-13]. Os algoritmos podem estabelecer a quantidade, a disposição, a distância, o tipo e a alimentação dos elementos para otimizar o controle do diagrama de radiação em diversas aplicações, tais como direcionar o lóbulo principal, reduzir os lóbulos laterais, rejeitar sinais interferentes com direções de chegada conhecidas e melhorar a área de

cobertura do sinal radiado. As referências bibliográficas têm estudos divulgados dessas aplicações [4, 9, 11-22], dos quais alguns resultados são usados para validar a eficácia do objetivo maior deste trabalho, que consta em otimizar o controle eletrônico do diagrama de radiação de arranjos de antenas usando algoritmos genéticos com codificação real.

Nesse contexto, foi idealizada uma ferramenta computacional, denominada de O3AG – Otimização de Arranjos de Antenas com Algoritmos Genéticos, para auxiliar o projeto de arranjos de antenas, sendo concebidas três fases de desenvolvimento, começando por usar um ambiente computacional matemático para criar e testar funções que formam o algoritmo de otimização. Na segunda fase, os blocos comuns dessas funções devem ser decompostos em módulos, acionados por uma função principal, tudo reunido num conjunto voltado para a aplicação (*toolbox*) do ambiente computacional. Por fim, a terceira fase consiste em criar um aplicativo, numa linguagem de programação adequada, agrupando todas as funções do *toolbox* da segunda fase num só programa executável.

Outrossim, a fase inicial possui três etapas, responsáveis por aplicar o algoritmo para otimizar projetos de: controle da alimentação de um arranjo linear de qualquer tipo de antena; controle da alimentação para qualquer disposição do arranjo (linear, planar, circular etc.); e controle da distância entre os elementos. Esta dissertação trata da primeira dessas etapas, a qual é considerada a mais importante, pois consiste na elaboração de um algoritmo genético e de seus testes, ajustes e comparações com as referências bibliográficas, devendo ser o mais genérico possível, para resolver aplicações a serem propostas. Destarte, do sucesso da primeira etapa depende a continuação das demais etapas e fases, as quais cabe apenas adaptar a ferramenta a situações particulares e migrá-la para outra forma de apresentação computacional.

Na etapa inicial da ferramenta, foi adotado o arranjo linear, por ter grande aceitação prática, servir de base para compor antenas mais complexas e acarretar menor esforço computacional, devido à formulação concisa e ao controle do diagrama de radiação ocorrer apenas em elevação. Os estudos desses arranjos começaram considerando radiadores isotrópicos, pois facilitam os projetos e são facilmente extrapolados para outros tipos de elementos; porém, para testar o desempenho da ferramenta numa situação mais prática, também foram realizados estudos com dipolos.

Quanto ao algoritmo genético, tendo em vista as diversas vantagens citadas nas referências bibliográficas, foi utilizada a codificação real, a qual é implantada de modo inspirado na estrutura física do próprio arranjo de antenas, visando facilitar os processos subseqüentes do algoritmo e reduzir o tempo de processamento. Por outro lado, os casos estudados têm espaços de busca vastos, de modo que o emparelhamento tradicional de indivíduos mais aptos pode causar uma convergência prematura para ótimos locais, sendo elaborado um critério de emparelhamento entre indivíduos mais aptos e menos aptos, denominado de *recombinação máximo-mínimo*, procurando melhorar a busca global e a aptidão média do conjunto de soluções manipulado pelo algoritmo.

Isso posto, o Capítulo 2 inicia a fundamentação teórica necessária à compreensão do trabalho, analisando conceitos de antenas, como definições, características de radiação, tipos e aplicações, com ênfase nos arranjos e sua formulação. A fundamentação é completada no Capítulo 3, discutindo características dos algoritmos genéticos, como histórico, analogias com a natureza, classificação na computação evolucionária, estrutura de funcionamento, problemas e soluções de implementação, aplicações, sobretudo na Engenharia Elétrica, e principais teorias sugeridas, regras práticas e perspectivas.

No Capítulo 4, o método probabilístico dos algoritmos genéticos é comparado aos métodos determinísticos convencionais para otimizar o diagrama de radiação de arranjos de antenas, além de abordar o contexto prático e a conceituação teórica de aplicações do controle eletrônico do diagrama, propondo e especificando três situações de operação. No Capítulo 5, tais situações e várias outras são resolvidas pela ferramenta O3AG, sendo descritos o ambiente computacional, a estrutura, as simulações e os resultados dos testes de validação da ferramenta nesta etapa de desenvolvimento. Por fim, no Capítulo 6, estão contidas as conclusões e propostas de continuidade do trabalho.

## Capítulo 2 - Arranjos de Antenas

### 2.1 - Introdução

De forma bem simples, uma antena pode ser definida como um dispositivo capaz de radiar ou receber ondas eletromagnéticas num dado meio [1-2]. Na prática, as características de radiação exigidas requisitam diferentes tipos de antenas, que dependem da forma física e dos materiais empregados na construção, fatores que determinam a distribuição dos campos elétrico e magnético.

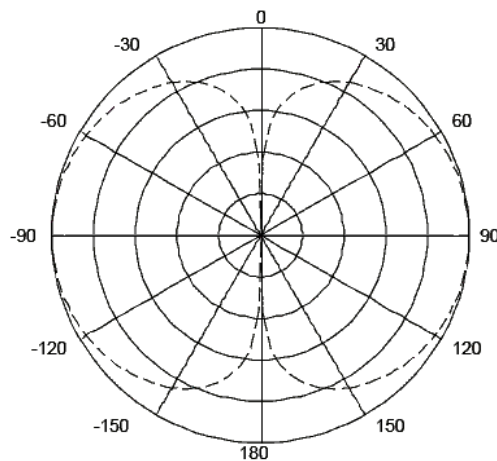
Em muitas aplicações, é necessário usar antenas com características de diretividade acentuadas e controláveis, mas, com algumas exceções, como o caso de antenas com refletores, o diagrama de radiação de um simples elemento é relativamente disperso e possui baixos valores de diretividade ou ganho [1]. Uma forma de obter maior diretividade é adicionar múltiplos elementos ao original, criando uma nova estrutura, denominada de arranjo de antenas e os seus elementos individuais podem ser fios, aberturas, espiras, microfitas ou uma mistura deles.

Pode-se conseguir o controle de diretividade alterando características dos arranjos de antenas, como a geometria dos elementos (disposição espacial e distância entre os mesmos), os tipos de antenas usados e os sinais de excitação (amplitude e fase) de cada elemento [1-5]. No último caso, a combinação de arranjos de antenas e processamento de sinais no espaço e no tempo gera um controle robusto e dinâmico das características de radiação, originando as chamadas *antenas adaptativas* (ou *inteligentes*).

O aumento da capacidade de processamento e a diminuição dos custos dos processadores digitais de sinais permitiram utilizar esse tipo de arranjo em sistemas comerciais de comunicação sem fio, principalmente, o *celular*. O uso desses arranjos melhora o desempenho do sistema, pois aumenta a qualidade do sinal recebido (maior diretividade) e a supressão de sinais interferentes. Com isso, a capacidade de tráfego do sistema cresce e há melhoria no uso do espectro disponível, estendendo a área de cobertura e gerando múltiplos feixes para acompanhar várias estações móveis simultaneamente.

## 2.2 - Características de Radiação de Antenas

Comumente, é necessário visualizar a distribuição de potência em diferentes direções ao redor da antena, o que pode ser feito por representações gráficas em duas ou três dimensões. Essas representações podem ser traçadas em diferentes planos do espaço, destacando-se os planos que contém os campos elétrico, plano E, e magnético, plano H, para o modo de propagação transversal eletromagnético, TEM. Esses gráficos são denominados de *diagrama de radiação* e indicam como a potência radiada (ou recebida) pela antena se concentra no espaço. Na Figura 2.1, é apresentado um exemplo de diagrama de radiação traçado no plano E para um dipolo de meio comprimento de onda.



**Figura 2.1** – Diagrama de radiação no plano E do dipolo de meio comprimento de onda.

A partir da razão entre tal potência radiada,  $P_{rad}$ , e o ângulo sólido,  $\Omega$ , em esferorradiano, obtém-se a *intensidade de radiação*,  $U$ , numa dada direção, como mostra (2.1) [1], sendo  $\phi$  e  $\theta$  os ângulos de azimute e elevação, respectivamente. Destaca-se que o produto do quadrado do raio,  $r^2$ , pelo ângulo sólido fornece a área de parte de uma superfície esférica,  $A_{rad}$ , cuja área total é obtida para o ângulo sólido  $4\pi$ . Outrossim, a potência radiada pela antena é emitida para o espaço em forma de onda eletromagnética, cujo valor médio pode ser obtido da densidade de potência média,  $W_{rad}$ , integralizada sobre a superfície de radiação, conforme a expressão (2.2) [1], obtida de (2.1).

$$U(\theta, \phi) = \frac{P_{rad}}{\Omega} = r^2 \cdot \frac{P_{rad}}{A_{rad}} \therefore U(\theta, \phi) = r^2 \cdot W_{rad}(\theta, \phi) \quad (2.1)$$

$$P_{rad} = \oint_S \mathbf{W}_{rad} \cdot d\mathbf{s} = \int_0^{2\pi} \int_0^\pi W_{rad}(\theta, \phi) \cdot r^2 \cdot \sin\theta \cdot d\theta \cdot d\phi \therefore P_{rad} = \int_0^{4\pi} U(\Omega) d\Omega \quad (2.2)$$

Para campos distantes, a intensidade de radiação também é dada por (2.3) [1].

$$U(\theta, \phi) = \frac{r^2}{2\eta} \cdot |\mathbf{E}(r, \theta, \phi)|^2 \therefore U(\theta, \phi) \cong \frac{I}{2\eta} \cdot \left[ |E_\theta(\theta, \phi)|^2 + |E_\phi(\theta, \phi)|^2 \right] \quad (2.3)$$

Existem vários tipos de antenas, dos quais alguns serão tratados na Seção 2.3, no entanto, é necessário, desde já, considerar a antena ou o radiador isotrópico, que irradia campos eletromagnéticos de mesma intensidade em todas as direções [1]. Na prática, não existe antena totalmente isotrópica, mas suas características são usadas como um modelo de referência para o estudo de todos os demais tipos. Por conseguinte, na antena isotrópica, a intensidade de radiação é constante,  $U_0$ , e a potência radiada é dada por (2.4) [1].

$$P_{rad} = \int_0^{4\pi} U(\Omega) d\Omega = U_0 \int_0^{4\pi} d\Omega \therefore P_{rad} = 4\pi U_0 \quad (2.4)$$

É comum o diagrama de radiação das antenas ser obtido da intensidade de radiação ou do campo elétrico, em função do azimute,  $\phi$ , e da elevação,  $\theta$ . O diagrama também pode ser apresentado *normalizado* pelo seu valor máximo e em decibéis (dB). Algumas expressões usadas para traçar o diagrama de radiação são dadas em (2.5) e (2.6).

$$U_{dB}(\theta, \phi) = 10 \cdot \log \left( \frac{U(\theta, \phi)}{U_{max}} \right) \quad (2.5)$$

$$E_n(\theta, \phi) = \sqrt{\frac{U(\theta, \phi)}{U_{max}}} \quad (2.6)$$

O diagrama de radiação também é um excelente indicador de uma característica essencial da antena, que é seu *ganho diretivo*,  $D_g$ , definido como a razão entre a intensidade de radiação da antena e a intensidade de radiação de uma antena isotrópica [1], conforme mostra (2.7), conseguida com o uso de (2.4).

$$D_g(\theta, \phi) = \frac{U(\theta, \phi)}{U_0} \therefore D_g(\theta, \phi) = \frac{4\pi U(\theta, \phi)}{P_{rad}} \quad (2.7)$$

Obviamente, numa antena isotrópica, o ganho diretivo é sempre igual a um. Nas outras antenas, há um feixe ou lóbulo principal na direção do valor máximo do ganho diretivo, chamado de *diretividade*,  $D_0$ , [1] e dado pela expressão (2.8).

$$D_0 = D_{g,max}(\theta, \phi) = \frac{U_{max}}{U_0} \therefore D_0 = \frac{4\pi U_{max}}{P_{rad}} \quad (2.8)$$

## 2.3 - Tipos de Antenas

### 2.3.1 - Antena Dipolo

As antenas dipolos são fabricadas de fios ou hastes metálicas e constituem o tipo mais simples encontrado. Tal qual a antena isotrópica, o dipolo (Figura 2.2) também serve para o estudo de outras antenas e é um exemplo simples de antena linear. Os dipolos se comportam de acordo com o seu comprimento e, nas aplicações práticas, são maiores que um décimo do comprimento de onda ( $\lambda/10$ ), sendo o dipolo de meia-onda ( $\lambda/2$ ) o mais comum, com uma resistência da ordem de 75 ohms (mais precisamente de 73,08 ohms).

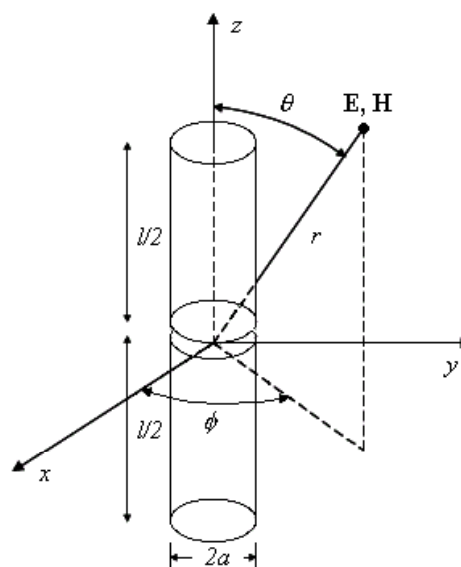


Figura 2.2 – Antena dipolo filamental.



No cálculo dos parâmetros do dipolo, emprega-se a forma infinitesimal, onde o comprimento físico é muito menor que o comprimento de onda,  $l \ll \lambda$ , posicionada na origem do sistema de coordenadas cilíndricas, orientada ao longo do eixo “z” e com “carga de topo”. Se a estrutura for muito pequena e fina, a corrente elétrica pode assumir módulo constante ( $I(z) = I_0 \cdot \mathbf{a}_z$ ). No projeto da antena dipolo filamentar da Figura 2.2, considera-se o raio do tubo,  $a$ , para o cálculo de parâmetros, mas ainda pode-se desprezá-lo no caso da impedância, pois o diâmetro do tubo é bem menor que o comprimento de onda ( $2a \ll \lambda$ ). Nesse caso, é comum considerar a corrente com distribuição senoidal.

### 2.3.2 - Antena Espira

Um outro tipo versátil de antena e com grande aplicação em HF, VHF e UHF, é a espira, que pode ser retangular, circular, triangular, etc.. A antena espira é um radiador ineficiente e, por isso, é mais usada em recepção de rádio-comunicação. A espira circular infinitesimal possui um raio muito pequeno ( $b \ll \lambda$ ) e um fio condutor bastante fino ( $2a \ll \lambda$ ), de maneira que é equivalente a um dipolo magnético infinitesimal de comprimento “ $l$ ” (Figura 2.3), onde a antena está posicionada no plano x-y, em  $z = 0$ , e a distribuição de corrente é dita constante ( $I_\phi = I_0$ ).

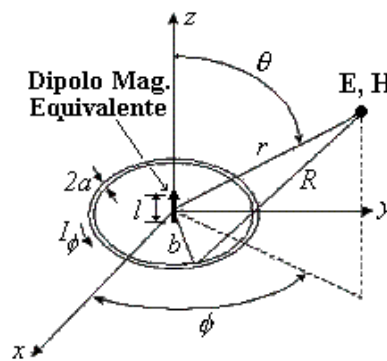


Figura 2.3 – Antena espira circular.

### 2.3.3 - Antena Yagi-Uda

As antenas utilizadas em rádio-enlace devem concentrar a potência radiada numa direção do espaço, o que se traduz em alta diretividade, feixe estreito e baixa potência na

direção oposta àquela de máxima radiação (alta relação frente-costas). Essas propriedades são obtidas nas antenas direcionais, construídas com auxílio de refletores ou usando vários elementos associados, como dipolos paralelos uns aos outros num mesmo plano, produzindo as antenas Yagi-Uda ou log-periódica.

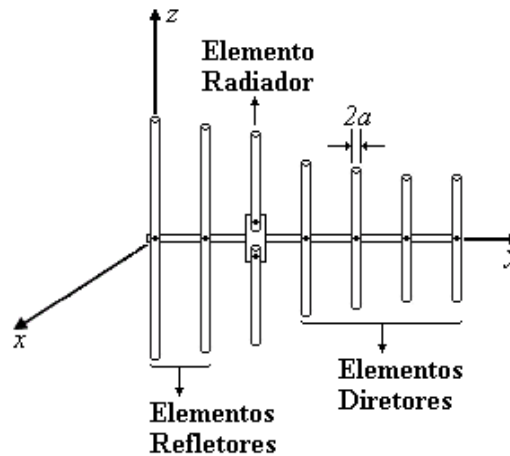


Figura 2.4 – Antena Yagi-Uda.

A antena Yagi-Uda é comum na prática, devido ao baixo peso, fácil construção e baixo custo. No modelo mais freqüente, os dipolos são espaçados paralelamente sobre um eixo, onde há um elemento alimentado, denominado de excitador ou radiador, e elementos parasitas, chamados de refletores (atrás do radiador) e diretores (à frente do radiador), conforme a Figura 2.4. O refletor é, geralmente, maior que o excitador e este é maior que os diretores. A faixa de operação e a diretividade da Yagi-Uda dependem diretamente do número de elementos e há uma grande quantidade de técnicas (experimentais, numéricas e analíticas) usadas para determinar as características ótimas de seus parâmetros.

### 2.3.4 - Antena Log-Periódica

A antena log-periódica tem um ganho praticamente constante, com uma periodicidade logarítmica numa ampla faixa de freqüências. Muito usada em VHF, é composta por dipolos alinhados paralelamente, como na Figura 2.5 ( $2\alpha$  é o ângulo de abertura). No projeto, os comprimentos dos elementos,  $l_n$ , os espaçamentos,  $R_n$ , as distâncias,  $S_n$ , e os diâmetros,  $d_n$ , variam por um fator de escala,  $\tau$ , e a relação comprimento-espaçamento é dada por um fator de espaçamento,  $\sigma$ .

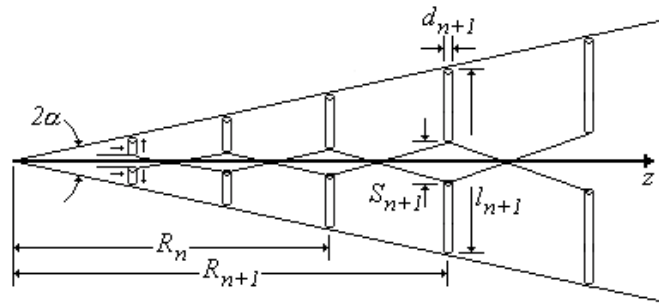


Figura 2.5 – Antena log-periódica.

A alimentação da antena é feita no vértice e a corrente flui para todos os elementos, através de linhas balanceadas ou cruzadas, para ter o lóbulo principal na direção do maior ou do menor dipolo, respectivamente. A corrente atinge o seu valor máximo na região cujas dimensões produzem ressonância, chama de região ativa, dando origem à radiação. Mudando a frequência, a região de ressonância ao longo da estrutura também é alterada.

### 2.3.5 - Antena Helicoidal

Outro tipo de antena de banda larga e alto ganho, comum em rádio-enlaces, é a helicoidal, composta de um refletor plano circular e uma hélice de fio ou tubo maleável. A alimentação ocorre, usualmente, por cabo coaxial, com a malha conectada ao plano de terra e o condutor central, à antena, conforme a Figura 2.6, onde  $\alpha$ ,  $2a$ ,  $L_0$ ,  $L$ ,  $S$ ,  $D$  e  $C$  são, respectivamente, o ângulo de passo, o diâmetro do fio e seu comprimento entre cada volta, o comprimento axial e o passo da antena, e o diâmetro e a circunferência das espiras.

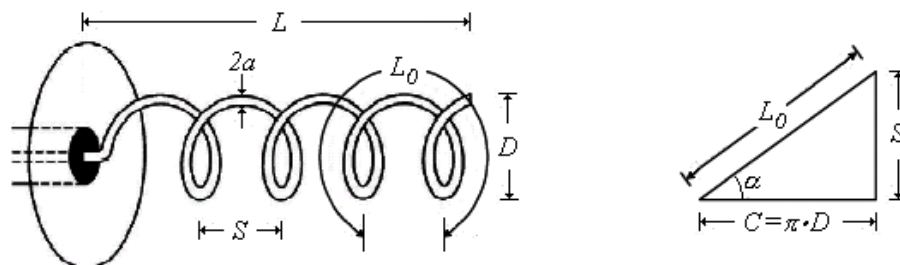


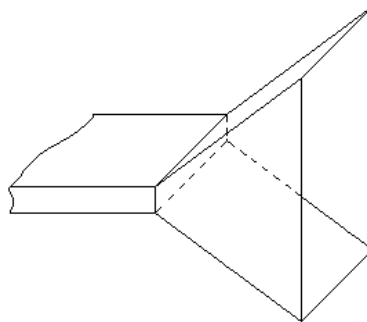
Figura 2.6 – Antena helicoidal.

Os principais modos de radiação da antena helicoidal são o normal (*broadside*) e o axial (*end-fire*). No modo normal ( $L \ll \lambda$ ), a antena se aproxima de um arranjo com

espiras e dipolos conectados alternadamente e em série, e, devido às pequenas dimensões, o diagrama de campo distante pode ser dado pela superposição dos campos de uma espira pequena e um dipolo curto. Para o modo axial, o ângulo de passo define a melhor direção para a máxima radiação, sendo o modo de operação mais usado, por possuir um grande lóbulo principal e possibilitar uma polarização circular.

### 2.3.6 - Antena Corneta

A antena corneta, com um exemplo na Figura 2.7, é bastante usada em sistemas de microondas, funcionando como elemento alimentador de antenas parabólicas (conforme Seção 2.3.8) em aplicações de astronomia, radares e enlaces de satélites por todo o mundo. Além disso, é empregada como padrão universal para calibração e medições de ganho de outros tipos de antenas de alto ganho. Essa grande aceitação se deve a simplicidade de construção, facilidade de excitação, versatilidade e grande ganho [1].



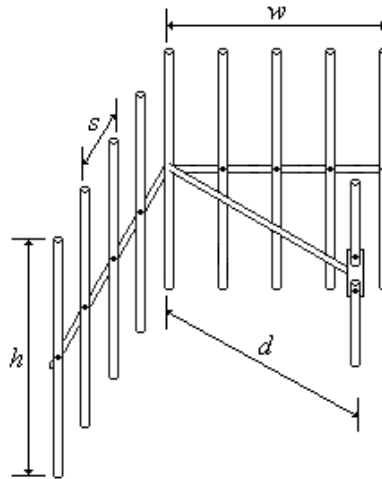
**Figura 2.7** – Antena corneta.

A antena corneta tem diferentes modelos (plano-E, plano-H, piramidal, cônica etc.) e pode ser tratada como uma antena abertura (Seção 2.3.9), de maneira a usar técnicas equivalentes para achar as características de radiação, considerando que o tipo, a direção e o tamanho do tubo da corneta têm profunda relação no desempenho radiador da antena [1].

### 2.3.7 - Antena com Placa Refletora

Para aplicações de diretividade elevada, uma alternativa aos arranjos lineares é usar refletores dos tipos abertura ou parabólico [1, 3]. Antenas compostas por elementos

radiadores em frente a refletores de placas metálicas sólidas ou vazadas são muito comuns em rádio-enlace UHF. As placas vazadas ou grades são utilizadas quando o comprimento de onda da aplicação é grande comparado às dimensões físicas, o que permite refletores mais leves e com menor resistência aos ventos. A Figura 2.8 mostra um refletor vazado com abertura de  $90^\circ$  (refletor de “canto”), com um dipolo de elemento alimentador.



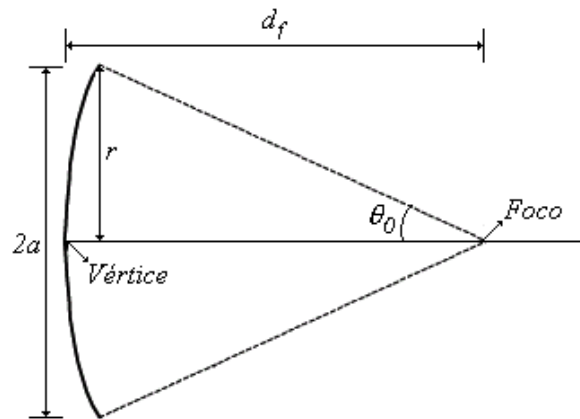
**Figura 2.8** – Antena com placa refletora de canto de  $90^\circ$ .

Refletores com abertura de  $90^\circ$  são os mais encontrados, já que a diretividade é relativamente alta e a abertura é suficiente para comportar os radiadores. Os ganhos típicos máximos obtidos por refletores de  $180^\circ$ ,  $90^\circ$  e  $45^\circ$  são, respectivamente, 6 dBi, 12,5 dBi e 14,5 dBi, enquanto a relação frente-costas nunca é menor que 20 dB, se forem atendidas certas relações entre altura,  $h$ , largura,  $w$ , e espaçamento,  $s$ , da placa refletora e a distância do elemento radiador,  $d$ , sendo elas:  $h \geq 0,6\lambda$ ,  $w \geq 2d$  e  $s \leq \lambda / 10$  [3].

### 2.3.8 - Antena Parabólica

As antenas parabólicas possuem um ganho muito alto, sendo empregadas nos enlaces mais longos, como em comunicações via satélites ou sondas interplanetárias [1, 3]. Sua estrutura clássica é formada por um refletor parabolóide com uma antena do tipo corneta posicionada no foco (Figura 2.9). Dentre as várias configurações com diferentes tipos de refletores e posições do alimentador, destacam-se as montagens do tipo Cassegrain com um refletor secundário posicionado no foco, para que o alimentador possa ser

colocado no centro do refletor primário, e do tipo alimentador deslocado ou “*offset*”, onde apenas parte de um parabolóide é utilizada como refletor [3].

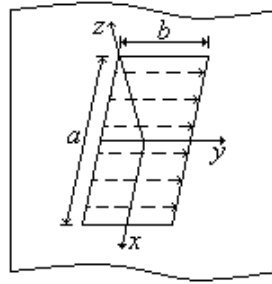


**Figura 2.9** – Antena parabólica.

Apesar da montagem do tipo Cassegrain ser mais cara, o sistema alimentador fica atrás do refletor primário, reduzindo a incidência de raios solares na antena alimentadora e melhorando a relação sinal-ruído do sistema [3]. As antenas parabólicas com alimentador deslocado são mais usadas em frequências elevadas (radiodifusão de sinal de TV por assinatura na banda Ku), pois as dimensões físicas reduzidas dão mais estabilidade mecânica ao braço alimentador, fator essencial pela ação dos ventos, ressaltando-se que o alimentador praticamente não bloqueia as ondas eletromagnéticas incidentes no refletor, de maneira a aumentar a eficiência da antena [3].

### 2.3.9 - Antena Abertura (“Fenda”)

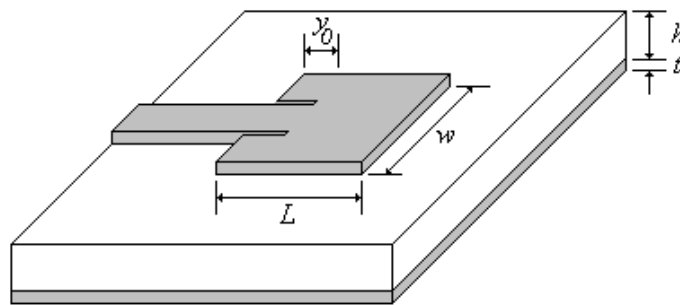
A antena abertura pode ter várias configurações geométricas, desde a forma de um guia de ondas até cornetas quadradas, retangulares, circulares etc., permitindo aplicações em aeronaves e veículos espaciais, devido a sua montagem não interferir na aerodinâmica dos veículos, sendo, provavelmente, a antena abertura retangular (também chamada de “fenda”) a mais comum antena de microondas [1]. O sistema de coordenadas retangulares é o mais conveniente para se expressar os campos na abertura, devido à facilidade de integração. A Figura 2.10 mostra a geometria para análise da antena de abertura retangular com distribuição uniforme. Se as dimensões da abertura forem maiores que um comprimento de onda, a antena dá origem à ocorrência de múltiplos lóbulos.



**Figura 2.10** – Antena abertura retangular com distribuição uniforme.

### 2.3.10 - Antena de Microfita

A antena de microfita consiste basicamente de duas placas condutoras paralelas, uma com o elemento radiante e a outra com o plano de terra, separadas por um substrato dielétrico (Figura 2.11), onde o elemento radiante tem espessura,  $t$ , e espaçamento do plano de terra,  $h$ , muito menores que o comprimento de onda,  $\lambda$  ( $t \ll \lambda$  e  $h \ll \lambda$ , onde  $t \ll h$ ) [1-2]. Os materiais condutores mais empregados são cobre e ouro, enquanto os materiais dielétricos são alumina e fibras texturizadas com teflon. Há várias formas de alimentar a antena; porém, as mais usadas são fitas condutoras de pequena largura e cabos coaxiais.



**Figura 2.11** – Antena planar de microfita.

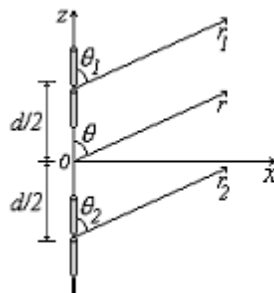
Sendo um tipo de antena abertura, o desenvolvimento das antenas de microfita foi incentivado por aplicações em veículos de alta velocidade, que exigem radiadores mínimos para não interferir na aerodinâmica dos veículos. Além da facilidade na instalação, as antenas de microfita têm custo reduzido, alta performance e polarização linear ou circular mudando apenas o ponto de alimentação. Contudo, apresentam algumas dificuldades, como baixa eficiência, largura de banda estreita e pequena capacidade de potência.

## 2.4 - Estudo de Arranjos de Antenas

### 2.4.1 - Conceitos de Arranjos

Estruturas constituídas por apenas um elemento radiador contém características de radiação nem sempre adequadas a muitas aplicações, como rádio-enlaces ou radiodifusão [1, 3]. A antena dipolo, por exemplo, tem baixa diretividade, feixe largo e relação frente-costas de 0 dB [3]. Para adequar o desempenho, costuma-se usar antenas com refletores ou conjuntos de antenas. Tais conjuntos podem ter elementos distribuídos ao longo de um eixo ou superfície plana, formando os chamados arranjos linear e planar, respectivamente.

Desprezando o acoplamento entre os elementos, o campo total do arranjo de antenas é dado pela adição vetorial dos campos radiados dos elementos individuais [1]. Portanto, para ter uma alta diretividade, deve haver interferência construtiva na direção desejada e destrutiva nas outras direções, o que pode ser feito controlando a disposição geométrica, o espaçamento, a alimentação e o tipo dos elementos [1-5]. Em geral, a análise é feita para arranjos de elementos isotrópicos, sendo estendida para não-isotrópicos pelo produto entre as expressões dos campos radiados do elemento e do arranjo isotrópico, como demonstrado a seguir, num arranjo de dois dipolos infinitesimais (Figura 2.12) [1].



**Figura 2.12** – Arranjo de dois dipolos infinitesimais (campo distante).

Se as correntes de excitação dos elementos são dadas por (2.9), onde  $I_{01}$  e  $I_{02}$  são as amplitudes e  $\beta_1$  e  $\beta_2$  são as fases de excitação, os campos elétricos em regiões distantes,  $\mathbf{E}_1$  e  $\mathbf{E}_2$ , serão fornecidos pelas expressões (2.10), sendo  $\eta$  a impedância intrínseca do meio,  $k$  o número de onda ( $k = 2\pi/\lambda$ ) e  $l$  o comprimento do dipolo [1, 3].

$$I_{e1} = I_{01} \cdot e^{j\beta_1} \quad \text{e} \quad I_{e2} = I_{02} \cdot e^{j\beta_2} \quad (2.9)$$



$$\mathbf{E}_1 = E_1 \hat{\mathbf{a}}_0 = \frac{j\eta k I_{01} l \cdot e^{-j(kr_1 - \beta_1)}}{4\pi r_1} \cdot \text{sen}\theta_1 \cdot \hat{\mathbf{a}}_0 \quad (2.10)$$

$$\mathbf{E}_2 = E_2 \hat{\mathbf{a}}_0 = \frac{j\eta k I_{02} l \cdot e^{-j(kr_2 - \beta_2)}}{4\pi r_2} \cdot \text{sen}\theta_2 \cdot \hat{\mathbf{a}}_0$$

Para campos distantes,  $r$  é muito maior que  $d$ , de modo que  $\theta_1 \cong \theta_2 \cong \theta$ . Com isso, as variações podem ser aproximadas por (2.11), para amplitudes, e (2.12), para fases.

$$r_1 \cong r_2 \cong r \quad (2.11)$$

$$kr_1 \cong k \cdot \left( r - \frac{d}{2} \cos\theta \right) \quad \text{e} \quad kr_2 \cong k \cdot \left( r + \frac{d}{2} \cos\theta \right) \quad (2.12)$$

Como o campo produzido pelo arranjo, assumindo nulo o acoplamento entre os dipolos, é igual à superposição dos campos gerados pelos mesmos, resulta-se em (2.13).

$$\mathbf{E}_T = \mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2 = (E_1 + E_2) \cdot \hat{\mathbf{a}}_0 \quad \therefore E_T = E_1 + E_2 \quad (2.13)$$

$$\therefore E_T = \frac{j\eta k l \cdot e^{-jkr}}{4\pi r} \cdot \text{sen}\theta \cdot \left[ I_{01} \cdot e^{j\left(\frac{d}{2}\cos\theta + \beta_1\right)} + I_{02} \cdot e^{-j\left(\frac{d}{2}\cos\theta - \beta_2\right)} \right]$$

Tomando o elemento 1 como referência, (2.13) pode ser reescrita como (2.14).

$$E_T = \frac{j\eta k I_{01} l \cdot e^{-jkr}}{4\pi r} \cdot \text{sen}\theta \cdot \left[ e^{j\left(\frac{d}{2}\cos\theta + \beta_1\right)} + \frac{I_{02}}{I_{01}} \cdot e^{-j\left(\frac{d}{2}\cos\theta - \beta_2\right)} \right] \quad (2.14)$$

Se a alimentação dos dipolos tiver a mesma amplitude ( $I_{01} = I_{02} = I_0$ ) e fase progressiva ( $\beta_1 - \beta_2 = \beta$ , com o caso elementar de  $\beta_1 = \beta/2$  e  $\beta_2 = -\beta/2$ ), (2.14) dá origem à (2.15). Disso, verifica-se que o campo total em regiões distantes,  $E_T$ , é igual ao campo de um elemento posicionado na origem (ou num ponto de referência selecionado),  $E_{el}$ , multiplicado por um fator, conhecido por fator de arranjo,  $FA$ , como sintetizado em (2.16). Esse processo é chamado de multiplicação de diagramas e pode ser estendido para arranjos de inúmeros elementos, com diferentes amplitudes, fases e espaçamentos [1-3, 5].

$$E_T = \frac{j\eta k I_0 l \cdot e^{-jkr}}{4\pi r} \cdot \text{sen}\theta \cdot \left[ e^{j\left(\frac{d}{2}\cos\theta + \frac{\beta}{2}\right)} + e^{-j\left(\frac{d}{2}\cos\theta + \frac{\beta}{2}\right)} \right] \quad (2.15)$$

$$\therefore E_T = \frac{j\eta k I_0 l \cdot e^{-jkr}}{4\pi r} \cdot \text{sen}\theta \cdot \left\{ 2 \cdot \cos\left[\frac{1}{2} \cdot (kdcos\theta + \beta)\right] \right\}$$

$$E_T = E_{el} \cdot FA \quad (2.16)$$

Apesar de não ser uma condição necessária, é comum considerar o arranjo com elementos idênticos, o que simplifica bastante os cálculos [1]. Com isso e sabendo que o fator de arranjo não depende das características direcionais dos elementos, mas sim da geometria e da alimentação do arranjo, os projetos são facilitados, sendo elaborados para elementos isotrópicos e depois extrapolados a qualquer tipo de elemento, usando (2.16). Nesse contexto, a intensidade de radiação do arranjo também pode ser obtida para elementos isotrópicos, usando o fator de arranjo, como mostra (2.17) [1, 3]. Para um arranjo de elementos não-isotrópicos de campo elétrico  $E_{el}(\theta, \phi)$ , a intensidade de radiação é dada por (2.18) [3]. De posse da intensidade de radiação, a diretividade do arranjo é encontrada analogamente ao caso de antenas de um elemento, usando a expressão (2.8).

$$U(\theta, \phi) = FA^2 \quad (2.17)$$

$$U(\theta, \phi) = \frac{r^2}{2\eta} \cdot E_{el}^2 \cdot FA^2 \quad (2.18)$$

O fator de arranjo permite adequar a característica de radiação à aplicação desejada, destacando-se o chamado arranjo de varredura (*scanning array*), onde o controle da alimentação dos elementos (controle eletrônico) permite variar o lóbulo principal de radiação entre as direções normal (*broadside*) e axial (*end-fire*) ao eixo do arranjo [1]. Além disso, é possível estabelecer o nível de sinais radiados em direções indesejáveis (lóbulos secundários), impedindo interferências, regiões sem cobertura (“sombra”) e perda de potência na direção principal. Um parâmetro para quantificar o nível dos lóbulos secundários é o RSL (*Relative Side Lobe Level*), calculado pela relação entre as amplitudes dos lóbulos principal,  $A_p$ , e maior lóbulo secundário,  $A_s$ , conforme (2.19) [4].

$$RSL L = 20 \cdot \log\left(\frac{A_p}{A_s}\right) \quad (2.19)$$

Se comparado a outros métodos, o controle eletrônico de amplitude e fase de alimentação dos elementos do arranjo tem grande flexibilidade, durabilidade e baixo custo, sendo feito por divisores de potência e deslocadores de fase. É comum utilizar a amplitude para controlar o nível dos lóbulos secundários e a fase para controlar a direção do lóbulo principal [1]. No projeto, a configuração de controle eletrônico adotada depende de um compromisso entre diretividade, RSL L e largura do feixe. Alguns métodos convencionais determinísticos de configuração são o uniforme, o binomial e o Dolph-Tschebyscheff, além de haver pesquisas com métodos probabilísticos, como os *algoritmos genéticos*.

### 2.4.2 - Arranjos de Elementos Isotrópicos

Bastante usado para compor antenas mais complexas, o arranjo com distribuição linear de N elementos pode ser analisado da mesma forma que o arranjo de dois elementos [1, 3]. Assim, para o arranjo de radiadores isotrópicos da Figura 2.13, com correntes de excitação dadas por (2.20), obtém-se o fator de arranjo de (2.21), onde  $I_0$  é a amplitude da corrente do elemento de referência,  $A_n$  é a razão entre as amplitudes das correntes dos elementos e  $I_0$  ( $A_n = |I_n| / I_0$ ) e  $\beta_n$  é a defasagem de alimentação, em relação à origem [3].

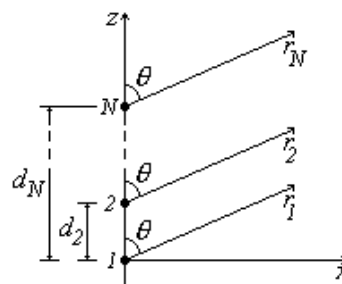


Figura 2.13 – Arranjo linear de N elementos isotrópicos.

$$I_n = A_n \cdot I_0 \cdot e^{j\beta_n} \quad (2.20)$$

$$FA = \sum_{n=1}^N [A_n \cdot e^{j(kd_n \cos\theta + \beta_n)}] \quad (2.21)$$

Para arranjos com espaçamento e amplitude uniformes e diferença de fase constante entre elementos,  $\beta$ , (2.21) pode ser reescrita por (2.22), onde  $\Psi = kdcos\theta + \beta$  [1, 3]. Se o arranjo é simétrico em relação à origem, (2.22) é dada normalizada em (2.23) [1, 3].

$$FA = \sum_{n=1}^N e^{j(n-1)\Psi} \therefore FA = e^{j\frac{N-1}{2}\Psi} \cdot \left[ \frac{\text{sen}\left(\frac{N}{2} \cdot \Psi\right)}{\text{sen}\left(\frac{1}{2} \cdot \Psi\right)} \right] \quad (2.22)$$

$$FA_{norm} = \frac{1}{N} \cdot \frac{\text{sen}\left(\frac{N}{2} \cdot \Psi\right)}{\text{sen}\left(\frac{1}{2} \cdot \Psi\right)} \quad (2.23)$$

Se o arranjo possui espaçamento uniforme,  $d$ , diferença de fase constante entre elementos adjacentes,  $\beta$ , e amplitudes diferentes com distribuição simétrica em relação à origem, onde  $A_n$  é razão entre as amplitudes das correntes dos elementos e  $I_0$ , (2.24) e (2.25) dão o fator de arranjo para um número de elementos par ( $2M$ ) ou ímpar ( $2M + 1$ ), respectivamente [1, 3].

$$FA_{2M} = 2 \cdot \sum_{n=1}^M A_n \cdot \cos\left[\frac{2n-1}{2} \cdot (kdcos\theta + \beta)\right] \quad (2.24)$$

$$FA_{2M+1} = 2 \cdot \sum_{n=1}^{M+1} A_n \cdot \cos[(n-1) \cdot (kdcos\theta + \beta)] \quad (2.25)$$

Outrossim, os radiadores individuais também podem ser posicionados ao longo de uma grade retangular para formar o chamado *arranjo planar* (Figura 2.14), que pode ser considerado como um conjunto linear de arranjos lineares. Os arranjos planares permitem maior controle das características de radiação, oferecendo um diagrama de radiação mais simétrico e com lóbulos laterais menores. Porém, exigem esquemas mais complexos de controle da alimentação. Se (2.26) é a corrente do elemento, obtém-se o fator de arranjo de (2.27), onde  $I_0$  é a amplitude da corrente do elemento de referência,  $A_{mn}$  é razão entre as correntes ( $A_{mn} = |I_{mn}| / I_0$ ) e  $\beta_m$  e  $\beta_n$  são as defasagens em relação à origem [3].

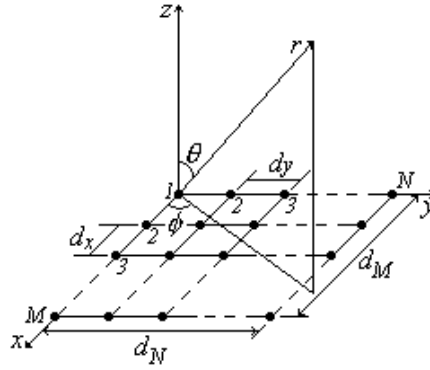


Figura 2.14 – Arranjo planar de M x N elementos isotrópicos.

$$I_{mn} = A_{mn} \cdot I_0 \cdot e^{j(\beta_m + \beta_n)} \quad (2.26)$$

$$FA = \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M \left[ A_{mn} \cdot e^{j(kd_m \sin \theta \cos \phi + \beta_m)} \cdot e^{j(kd_n \sin \theta \sin \phi + \beta_n)} \right] \quad (2.27)$$

Para um arranjo de espaçamentos e amplitudes uniformes e com diferença de fase entre elementos adjacentes dada por  $\beta_x$  e  $\beta_y$ , conforme o eixo, (2.27) pode ser reescrita por (2.28), onde  $\psi_x = kd_x \sin \theta \cos \phi + \beta_x$  e  $\psi_y = kd_y \sin \theta \sin \phi + \beta_y$  [1, 3]. Se o arranjo é simétrico em relação à origem, seu valor normalizado é dado em (2.29) [1, 3].

$$FA = \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M \left[ e^{j(m-1)\Psi_x} \cdot e^{j(n-1)\Psi_y} \right] \quad (2.28)$$

$$FA_{norm} = \left[ \frac{\text{sen}\left(\frac{M \cdot \Psi_x}{2}\right)}{M \cdot \text{sen}\left(\frac{\Psi_x}{2}\right)} \right] \cdot \left[ \frac{\text{sen}\left(\frac{N \cdot \Psi_y}{2}\right)}{N \cdot \text{sen}\left(\frac{\Psi_y}{2}\right)} \right] \quad (2.29)$$

### 2.4.3 - Arranjos de Elementos Não-Isotrópicos

Mesmo com o artifício da multiplicação de diagramas, alguns arranjos merecem estudo na sua formulação completa, já considerando o campo do elemento individual [1, 3]. Esse é o caso dos dipolos de comprimento finito, com alimentação pelo centro e

distribuição de corrente senoidal. Nesse caso, usando (2.16), o campo total do arranjo linear de dipolos finitos é dado por (2.30), onde o campo do elemento está em (2.31) e o fator de arranjo é aquele de (2.21), sendo que o módulo é usado para arranjos simétricos em relação à origem e  $\theta_0 = 0$  para dipolos colineares e  $\theta_0 = \pi/2$  para dipolos paralelos [3].

$$E_T = E_{el} \cdot |FA| \quad (2.30)$$

$$E_{el} = \frac{j\eta I_0 \cdot e^{-jkr}}{2\pi r} \cdot \left[ \frac{\cos\left(\frac{kl}{2} \cdot \cos(\theta + \theta_0)\right) - \cos\left(\frac{kl}{2}\right)}{\text{sen}(\theta + \theta_0)} \right] \quad (2.31)$$

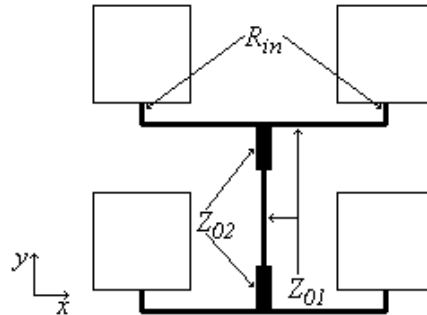
A intensidade de radiação do arranjo de dipolos nas direções  $\theta$  e  $\phi$ ,  $U_e$  e  $U_h$ , é diferente, devido às características direcionais do dipolo, como mostram, respectivamente, (2.32) e (2.33), obtidas a partir de (2.18) e (2.31) [3]. Observe-se que o valor normalizado,  $U_{en}$  e  $U_{hn}$ , pode ser obtido dividindo a intensidade de radiação pelo seu valor máximo na direção. Já a diretividade do arranjo também pode ser encontrada com (2.8) e, se os dipolos tiverem espaçamentos e amplitudes uniformes, pode-se usar (2.22) nas expressões (2.32) e (2.33), substituindo  $\theta$  por  $\phi$  no caso de  $U_h$ .

$$U_e(\theta) = \frac{\eta |I_0|^2}{8\pi^2} \cdot \frac{\left[ \cos\left(\frac{kl}{2} \cdot \cos(\theta + \theta_0)\right) - \cos\left(\frac{kl}{2}\right) \right]^2}{\text{sen}^2(\theta + \theta_0)} \cdot |FA|^2 \quad (2.32)$$

$$U_h(\phi) = |FA|^2 \quad (2.33)$$

Outro arranjo não-isotrópico bastante comum é o arranjo planar de antenas de microfita, com vantagens como baixo custo, placa fina e leve, confiabilidade (sobretudo quando a entrada do arranjo é uma fita de cobre condutora) e enorme variedade de elementos radiadores, divisores de potência, seções de casamento, etc. que podem ser usados [1-2]. A Figura 2.15 mostra um arranjo planar de microfita retangulares, o qual possui feixe único de campo perpendicular ao plano do arranjo, mais diretividade, maior capacidade de potência e melhor largura de faixa que o elemento individual. É comum

encontrar arranjos de microfítas com elementos co-lineares, co-planares ou composições semelhantes àsquelas utilizadas com dipolos, como a Yagi-Uda e a log-periódica, arrumados sobre um mesmo substrato dielétrico [2].



**Figura 2.15** – Arranjo planar de microfítas retangulares.

## 2.5 - Conclusões

Neste Capítulo, foram sucintamente analisados alguns dos conceitos de antenas, abordando definições, características de radiação, tipos e aplicações. Os tipos mais comuns de antenas foram enfatizados, seja por serem referência no estudo de outras antenas ou por terem grande aceitação na prática. Também foi dado destaque aos arranjos de antenas e toda sua formulação pertinente, pois são empregados em situações onde elementos individuais não são adequados, como aplicações que exigem alta diretividade e *varredura* espacial da radiação ao redor da antena. Com isso, buscou-se obter uma visão geral sobre o assunto, que, juntamente com os algoritmos genéticos, tratados no Capítulo 3, são conteúdo essencial à compreensão dos estudos abordados neste trabalho.

## Capítulo 3 - Algoritmos Genéticos

### 3.1 - Introdução

Os problemas de otimização em geral envolvem a escolha de um conjunto de variáveis para maximizar (ou minimizar) uma função, que representa o critério de otimização, o que pode ser feito por métodos determinísticos ou probabilísticos, através de uma busca no espaço multidimensional das variáveis do problema [6]. Muitos problemas têm métodos determinísticos convencionais eficazes, sejam eles analíticos, numéricos ou enumerativos, mas eles podem falhar quando há não-linearidade, ruído, descontinuidade, inexistência de derivadas, multimodalidade, vários objetivos de otimização ou vastos espaços de busca (sem ponto de partida pré-estabelecido) [6-7, 10].

Nessas situações, os métodos probabilísticos demonstram a sua utilidade, onde se destacam os Algoritmos Genéticos, AG's, que, baseados nos conceitos de genética e seleção natural, exploram espaços de busca de grandes dimensões e manipulam um grande número de restrições, fatores esses comuns em projetos. Os AG's possuem um processo bastante criativo, no qual, de um conjunto de possíveis soluções do problema, as melhores são selecionadas, de modo a aproveitar o que há de ótimo em cada uma para fazer *recombinação* e *mutação*, gerando soluções novas e, provavelmente, ainda melhores. Esse refinamento iterativo é aplicado a problemas de todas as áreas, mostrando a flexibilidade dos AG's, que também são fáceis de hibridizar com outras técnicas [6].

Além disso, o custo computacional de implementação dos AG's é relativamente baixo, sendo um algoritmo simples e também facilmente paralelizável. Todos esses fatores têm tornado os AG's amplamente populares em áreas bem distintas, tais como engenharias, desenho industrial, pesquisa operacional, computação, bioquímica, biologia, composição musical e ciências sociais [6]. No caso das engenharias, os projetos de sistemas telecomunicações tem tido local de destaque no emprego de AG's, desde a localização de torres de comunicação, passando pelo estudo do tipo e da construção das antenas a serem empregadas nas torres e chegando ao controle dinâmico, determinando a alimentação imposta às antenas ou arranjos delas.



## 3.2 - Métodos de Otimização

Muitos problemas científicos e de engenharia são de busca ou otimização, isto é, um sistema é influenciado por vários fatores, cuja combinação para o desempenho ótimo deve ser obtida e o conjunto dessas combinações forma o *espaço de busca* do problema. Nesse ponto, busca e otimização são equivalentes [7], sendo locais, caso dependam de suposições iniciais, ou globais, caso contrário [12]. Um problema de maximização (a minimização é convertida em maximização por artifícios algébricos) é expresso em (3.1), onde  $f(\cdot)$  é uma função  $f: \mathcal{X}^n \rightarrow \mathcal{R}$ , num espaço de busca  $S \subseteq \mathcal{X}^n$  [7]. Destaca-se que  $f(\cdot)$  pode ser diferenciável ou não, linear ou não, uni ou multidimensional (depende de uma ou mais variáveis), estacionária ou não (variável com o tempo ou não) e  $S$  pode ser contínuo ou discreto, finito ou infinito e uni ou multimodal (ter um ou vários pontos de máximo).

$$\text{Busca} \Rightarrow \max(f(x)) \mid x \in S \quad \& \quad \text{Otimização} \Rightarrow x^* \mid f(x^*) \geq f(x), \forall x \in S \quad (3.1)$$

Em várias aplicações, a função a ser otimizada pode ter múltiplos objetivos de otimização (MOO), muitos deles até conflitantes. Uma forma direta de resolver problemas de MOO é a soma ponderada das funções de todos os objetivos de otimização, produzindo uma função total a ser otimizada [9]. Nessa situação, a solução ótima obtida é única, baseada na forma (inverso, módulo, potenciação, logaritmo etc.) e nos coeficientes (pesos) de cada termo da função total. Quanto à implementação, há a vantagem de alterações nos objetivos exigirem mudanças apenas na função total, enquanto o método de otimização empregado permanece intacto. Porém, existe a dificuldade de obter as formas e os pesos apropriados, o que requer suposições prévias da importância relativa de cada objetivo.

Caso o problema de MOO não possua somente um ótimo para todos os objetivos, tem-se um conjunto de soluções ótimas, conhecido como soluções não-inferiores ou soluções ótimas de Pareto. A solução é dita um ótimo de Pareto se uma nova alocação de recursos não puder melhorar um objetivo sem piorar outro [9]. Assim, a meta da otimização é encontrar o máximo possível de soluções, já que, sem informações adicionais, todas elas são igualmente satisfatórias. Uma vez achado o conjunto de Pareto, pode-se adotar uma solução ótima única, a partir de um critério de pós-otimização.

Sucintamente, os métodos de otimização conhecidos podem ser probabilísticos ou determinísticos (analíticos, numéricos e enumerativos), havendo também muitos métodos híbridos, e a escolha por um método depende do problema a ser resolvido [7]. Os métodos probabilísticos de otimização usam o conceito de probabilidade, mas não devem ser confundidos com métodos meramente aleatórios. Ao contrário, os métodos probabilísticos dirigem a busca para regiões do espaço onde há maior probabilidade de ter pontos ótimos, indiferente às características da função de otimização ou do espaço de busca. São exemplos desses métodos os algoritmos genéticos e o anelamento simulado (*simulated annealing*).

Por outro lado, os métodos determinísticos analíticos (ou algébricos) resolvem somente as equações das derivadas da função igualadas a zero e são restritos a funções explicitamente conhecidas e diferenciáveis no espaço de busca. Já os métodos numéricos usam as técnicas *simplex* ou de *gradiente* em espaços de busca linear ou não-linear, respectivamente; porém, são ineficazes para obter ótimos globais em funções multimodais e não se aplicam em funções não-contínuas e/ou não-diferenciáveis. Por fim, os métodos enumerativos procuram pontos ótimos em todo o espaço de busca, o que, obviamente, é impraticável para um número muito grande ou mesmo infinito de pontos a examinar.

### 3.3 - Os Algoritmos Genéticos e a Natureza

Embora a Teoria da Evolução Natural tenha sido formulada por Charles Darwin no final do século XIX, modelos matemáticos do processo evolutivo só foram idealizados com mais vigor a partir dos anos 60, com John H. Holland<sup>1</sup>. Particularizando para os AG's, a maior popularidade somente foi atingida dos anos 80 em diante, sobretudo, devido ao lançamento de materiais mais didáticos<sup>2</sup> e às Conferências Internacionais [7]. Os AG's são métodos probabilísticos de busca e otimização, simulando a evolução dos indivíduos na natureza, que é uma busca dirigida e não determinística, pois usa mecanismos adaptativos de otimização baseados em certa aleatoriedade.

---

<sup>1</sup> As bases dos AG's surgiram nos anos 60, na Universidade de Michigan, com John H. Holland, que culminou produzindo o livro *Adaptation in Natural and Artificial Systems*, em 1975 [7].

<sup>2</sup> Em 1989, D. E. Goldberg, discípulo de Holland, ajudou popularizar os AG's, com o livro *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*, da Addison-Wesley [7].

Em geral, a teoria da evolução de Darwin propõe a evolução gradual dos seres vivos, gerando proles geneticamente diversas, que competem pela sobrevivência, num processo de *seleção natural*. Porém, teorias evolutivas modernas propõem a evolução aos “saltos”, não gradual (hipótese de *Equilíbrios Pontuados*), e enfatizam que há processos aleatórios na distribuição genética das populações (teoria da Deriva Genética) [7]. Apesar de baseados no Darwinismo, alguns AG's também têm apresentado essas últimas teorias. Comparativamente, enquanto acredita-se numa evolução do homem em torno de 100.000 gerações [7], nos AG's, um processo evolutivo pode saturar em apenas 50 gerações.

A maioria dos seres vivos superiores é formada por células diplóides, isto é, com cromossomos aos pares. A herança genética está nas bases nucleicas de Adenina (A), Citosina (C), Timina (T) e Guanina (G), que, aos pares (A-T, C-G), formam segmentos (cadeias) de moléculas de ADN (ácido desoxirribonucleico). Essas moléculas, em forma de espiral dupla, originam os genes, que, finalmente, formam os cromossomos. Comumente, nos AG's, os indivíduos têm células haplóides, com um só cromossomo e de tamanho fixo, composto por uma seqüência de elementos, chamados genes, onde se encerra a análise de herança genética. Esses genes podem assumir valores (*alelos*) de um alfabeto finito.

Outra analogia entre AG's e processos naturais é a relação entre a estrutura de genes, o genótipo, e as características por eles conferidas, o fenótipo. Na genética natural, o mapeamento genótipo-fenótipo é complexo, com vasto espaço de busca e mecanismos de iteração sofisticados, tendo relações de um genótipo para vários fenótipos e vice-versa, além de depender de fatores internos e externos aos seres vivos. Nos AG's, o espaço de busca é bem menor e o mapeamento é feito na representação cromossômica, gerando uma correspondência direta e fácil, apesar de certos genótipos (variáveis independentes da otimização) ainda produzirem soluções de fenótipo (variável dependente) inválido.

Outrossim, os processos seletivos dos AG's são meras simplificações da seleção natural, pois não envolvem fatores ambientais, sociais, econômicos e culturais, além de permitirem muitos indivíduos de mesma carga genética (gêmeos), fato raro em seres vivos superiores. Além disso, os operadores genéticos clássicos dos AG's, recombinação e mutação, são prosaicos em face daqueles da natureza. Como exemplo, a probabilidade da mutação natural varia de gene para gene e depende de fatores externos ainda pouco conhecidos, enquanto nos AG's essa probabilidade é apenas fixada pelo usuário.

### 3.4 - Classificação dos Algoritmos Genéticos

O AG é um dos paradigmas da Computação Evolucionária, CE, a qual é parte da Inteligência Computacional, IC, também conhecida por Computação Flexível, CF, caracterizada pela manipulação numérica (não simbólica) do conhecimento, adaptabilidade e tolerância a informações imprecisas. Essa nova filosofia de computação para projetos é comparável aquela de Projeto Auxiliado por Computador (do inglês, CAD), que modificou radicalmente a área de projetos, podendo criar novos conceitos, como o Projeto Auxiliado por Algoritmos Genéticos, PAAG [6]. Os AG's têm grande interesse por serem flexíveis, simples de implementar e eficazes na busca global em ambientes adversos. A forma como AG's e outros ramos da IC se relacionam, segundo [7], é mostrada na Figura 3.1.

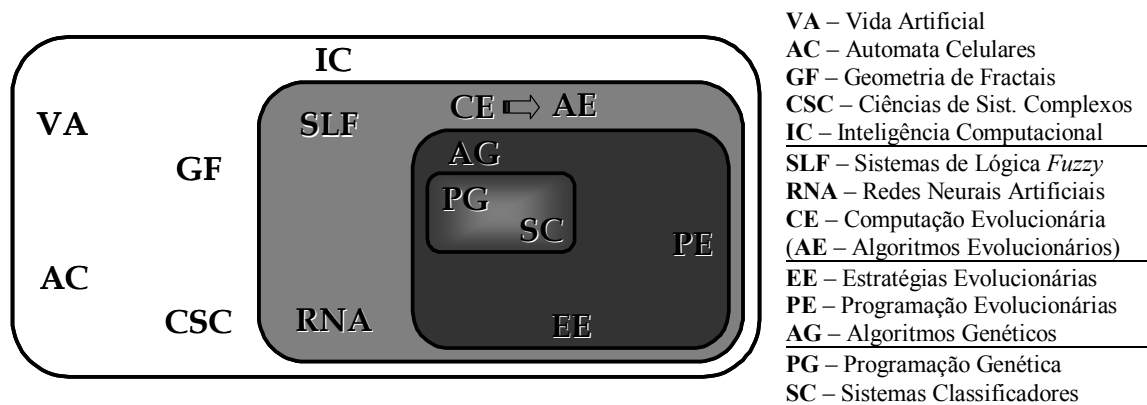


Figura 3.1 – Classificação dos AG's.

A CE está longe de ser uma ciência estabelecida, daquelas com um conhecimento coletado por séculos, uma vez que tem algo em torno de 30 anos e somente na última década tem tido uma quantidade razoável de trabalhos desenvolvidos. As técnicas de CE originam os chamados Algoritmos Evolucionários, AE's, que, além dos AG's, incluem os Sistemas Classificadores, SC's, e a Programação Genética, PG, tidos como casos especiais de AG's, e a Programação Evolucionária, PE, e as Estratégias Evolucionárias, EE, que surgiram de forma independente e só agora passam a interagir com os AG's.

Os SC's são conjuntos de regras adaptativas, os *classificadores*, manipuladas por AG's e capazes até de criar novas regras, num processo de aprendizagem. Já a PG aplica AG's a estruturas complexas, onde cada indivíduo é um programa de computador de tamanho variável, gerado automaticamente para resolver um problema. As EE's otimizam

funções reais multimodais e não-diferenciáveis e seu esquema mais simples usa mutação gaussiana para substituir um indivíduo por seu descendente “melhor”. Por fim, a PE copia a população em outra temporária, com o dobro do tamanho, onde aplica mutações e um processo estocástico para extrair a nova população.

A IC é composta por três áreas, inspiradas em diferentes aspectos da inteligência natural, cada qual com suas vantagens e desvantagens, de modo que há um esforço para integrá-las harmonicamente. Uma dessas áreas, a CE, foi enfatizada anteriormente e traduz o fenômeno de evolução como um processo inteligente de otimização. As Redes Neurais Artificiais, RNA, modelam de forma bem simples os complicados sistemas nervosos de animais superiores, buscando uma inteligência do simples para o complexo. Já os Sistemas de Lógica *Fuzzy*, SLF, ou de lógica nebulosa, são modelos que procuram extrair um pouco da variedade do raciocínio humano, através de uma lógica flexível.

Os AG's ainda possuem semelhanças com a Vida Artificial, VA, e os Automata Celulares, AC. Em VA, também é empregada uma metáfora evolucionária, mas em seres artificiais, como programas de computador, que evoluem em ambientes cibernéticos, competindo por processamento ou memória. Um AC é um conjunto de máquinas de estados finitos, formando uma malha regular, onde cada máquina é uma célula e muda de estado em sincronia, observando regras de transição locais e os estados de todas as células. Ainda há outros ramos das ciências da computação inspirados em aspectos naturais, como a Geometria de Fractais, GF, e as Ciências de Sistemas Complexos, CSC.

## **3.5 - Estrutura e Funcionamento de Algoritmos Genéticos**

### **3.5.1 - Definição e Características Básicas**

Há muitas definições para AG's e aquela dada em [7] é bastante completa, a qual diz: “AG's são métodos computacionais de busca baseados nos mecanismos de evolução natural e na genética. Em AG's, uma população de possíveis soluções para o problema em questão evolui de acordo com operadores probabilísticos concebidos a partir de metáforas biológicas, de modo que há uma tendência de que, na média, os indivíduos representem soluções cada vez melhores à medida que o processo evolutivo continua.”.

Sendo assim, os AG's operam paralelamente num conjunto de pontos (*população de indivíduos*), os quais representam um espaço de busca de soluções codificadas, extraídas das soluções propriamente ditas. Ademais, o AG não é considerado um algoritmo guiado matematicamente, evitando formulações difíceis, como no método tradicional do gradiente [10]. Sem usar derivadas ou outro conhecimento específico do problema, os AG's aplicam regras e operadores sobre um valor de adequação (*aptidão*), que é obtido de uma função de otimização própria (*função objetivo*) para cada indivíduo da população.

Um aspecto importante é determinar a relação entre o tempo de convergência do AG (tempo de processamento) e suas características, como o tamanho da população e a dificuldade de calcular funções internas, tratado como *complexidade computacional* dos AG's,  $O(\text{AG})$ . Numa população de tamanho  $N$ , a complexidade computacional pode ser proporcional a  $N$ ,  $N \cdot \ln(N)$  ou até  $N^2$ , dependendo da técnica de seleção de indivíduos para a próxima geração. Ressalta-se que, devido aos AG's possuírem vários operadores probabilísticos, repletos de passos com respostas aleatórias, o progresso rumo à solução ótima nem sempre é o mesmo e o estudo das características de convergência é mais eficiente em termos da média ou maioria dos resultados de vários ensaios [12].

Por sua versatilidade, os AG's não têm um modelo rígido, mas costumam ter um fluxo de execução semelhante, que inicia gerando um conjunto de soluções candidatas do problema a ser resolvido, todas codificadas de acordo com uma regra de representação pré-estabelecida. Tal conjunto nada mais é do que a *população inicial*, que é modificada a cada ciclo completo de iteração do AG, denominado de *geração*. O fluxograma da Figura 3.2 mostra os processos executados nesses ciclos, que serão explicados nas Seções seguintes.

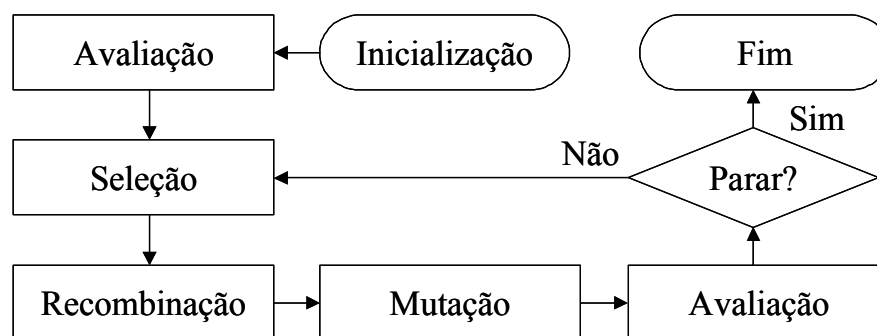


Figura 3.2 – Fluxograma de um AG.

## 3.5.2 - Codificação

### 3.5.2.1 - Considerações Gerais

A codificação não consta na Figura 3.2, porque não faz parte do funcionamento, mas sim da estrutura do AG, sendo o primeiro passo para aplicá-lo num problema real, e, se for inadequada, o problema pode ficar difícil ou até impossível para o AG [6-7]. Por outro lado, a codificação torna o AG independente dos parâmetros diretos do problema e, portanto, livre de eventuais restrições do espaço de solução inicial. Na codificação, as variáveis do problema são representadas, dentro do espaço de busca, por uma seqüência de símbolos (*genes*), que advêm de um alfabeto finito de opções (*alelos*). Após a codificação, as variáveis são reunidas num conjunto, formando um *cromossomo* e um ou mais *cromossomos* associados formam um *indivíduo*. Para facilitar a compreensão e simplificar o tratamento computacional, é comum usar *indivíduos* com um só *cromossomo* de tamanho fixo e o conjunto desses *indivíduos* gerar uma *população* também de tamanho constante.

### 3.5.2.2 - Codificação Binária

A estrutura simples e analogia direta com a genética natural fazem da codificação binária uma das mais usadas. No caso elementar, o alfabeto de alelos pode ser binário, 0 ou 1, e a dimensão da seqüência que compõe o cromossomo depende da precisão requerida. Se o problema é de valores contínuos e a variável é codificada no espaço discreto binário de base  $N$ , a decodificação primeiro converte a solução para decimal,  $x_d$ , e, depois, usando (3.2), a transforma para o espaço de busca do problema, cujos limites são  $x_{min}$  e  $x_{máx}$ .

$$x = -x_{min} + \frac{x_{máx} - x_{min}}{2^N - 1} \cdot x_d \quad (3.2)$$

O uso da codificação binária dá origem a alguns problemas, como vetores muito extensos para representar indivíduos com alta precisão e o fenômeno conhecido por *colinas de Hamming* [7]. Esse fenômeno consiste em grandes diferenças nas cadeias de “bits” que codificam dois números inteiros adjacentes, o que é enfatizado em ambientes dinâmicos e evidenciado em perturbações no “bit” mais significativo do parâmetro codificado, podendo causar um grande deslocamento no espaço de busca. Apesar de ampliar a busca em alguns

casos, a presença de colinas de Hamming pode atrapalhar a otimização, pois, a menos de saltos aleatórios no espaço de busca codificado, haverá dificuldades de alcançar o ponto ótimo, se ele tem muitos “bits” diferentes de seus pontos vizinhos (grandes colinas).

### 3.5.2.3 - Codificação Gray

Uma alternativa à codificação binária é o código Gray, pois minimiza o efeito das colinas de Hamming, já que o alfabeto de alelos também pode ser binário, 0 ou 1, mas os números inteiros consecutivos são representados por seqüências que diferem num único “bit”. No entanto, a recíproca não é verdadeira e duas seqüências com apenas um “bit” de diferença podem não ser dois inteiros consecutivos (por exemplo, 3 e 12). Com base nisso e na Seção 3.5.2.2, conclui-se que a codificação binária amplia a região de exploração e localiza o ótimo global, mas tem dificuldade em refinar a solução, enquanto a codificação Gray favorece a convergência com maior precisão, mas pode produzir um ótimo local. A conversão entre os códigos binário e Gray é simples e facilmente é implantada num AG.

### 3.5.2.4 - Codificação Real

Os problemas físicos em geral têm melhor codificação se ela for semelhante ao parâmetro modelado [11, 23], ou seja, na otimização de variáveis contínuas por natureza, é muito útil usar números reais, empregando a *codificação real* ou *contínua*. Se comparada à binária, a codificação real pode reduzir a complexidade computacional, aumentar a precisão sem restringir a codificação e facilitar a hibridização, pois não há transformações decimal-binário-decimal para formar cromossomos e calcular a aptidão, a precisão não depende de número de bits dos parâmetros e é mais compatível com outros algoritmos de otimização (Seção 3.6.2.14). A codificação real também minimiza o fenômeno das colinas de Hamming e, segundo [9] e [23], é mais rápida, mais precisa e tem resultados mais consistentes ao longo de repetições da execução do algoritmo.

Contudo, a codificação real possui um espaço de busca infinito (contínuo), exigindo certas adaptações na codificação e tornando os processos de recombinação e mutação mais complexos. Muitas vezes, essa complexidade requer soluções específicas, o que restringe a característica de flexibilidade proposta nos AG's, onde problemas distintos são tratados usando poucas ou nenhuma alteração. Isso posto, também merece ser registrado que alguns



projetos com grande variedade de parâmetros e alto tempo de processamento, podem utilizar indivíduos com cromossomos de codificação híbrida, isto é, contendo partes binárias e partes reais, de acordo com as variáveis contidas no problema [11].

### 3.5.3 - Inicialização

Para iniciar o processo de evolução, uma população inicial de possíveis soluções é gerada de forma aleatória ou heurística (com base no conhecimento prévio do problema). Da Seção 3.5.2.1, as populações costumam ter tamanho fixo, que, intuitivamente, deve ser o maior possível, pois, em última análise, uma população infinita cobriria todo o espaço de busca e a solução ótima seria obtida na primeira geração. Porém, na prática, a população deve ter tamanho finito e valores de 30 a 100 indivíduos resolvem a maioria dos problemas [12], exceto aqueles específicos. Para algoritmos lentos, é comum ter populações pequenas e/ou geradas de modo heurístico, para ter variedade mesmo com poucos indivíduos. De toda forma, as populações sempre devem ter grande diversidade genética, caracterizando a maior exploração paralela possível do espaço de busca, que é uma vantagem do AG sobre os métodos convencionais, que normalmente exploram uma possível solução por vez.

### 3.5.4 - Avaliação

Cada indivíduo da população é uma possível solução do problema e necessita-se avaliar a qualidade ou aptidão desses indivíduos, discriminando as melhores soluções. Essa aptidão, também chamada de *fitness*, é um ponto crítico do AG, pois é ela que está sendo otimizada. Comparando com a natureza, indivíduos com maior aptidão têm mais chances de sobreviver no ambiente e reproduzir-se, passando seu material genético para as gerações posteriores. Assim, cada indivíduo deve possuir um valor de aptidão não-negativo,  $a_i$ , obtido de uma função de avaliação, denominada *função objetivo*, que, em casos simples, pode ser a própria função a otimizar. Dividindo a aptidão de cada indivíduo,  $a_i$ , pela soma de todas as  $N$  aptidões, obtém-se a sua aptidão relativa,  $a_{i,rel}$ , como mostra (3.3).

$$a_{i,rel} = \frac{a_i}{\sum_{j=1}^N a_j} \quad (3.3)$$

Em alguns trabalhos, como [16], o valor da aptidão advém da chamada *função aptidão*, obtida a partir da função objetivo, que, nesse caso, é uma expressão matemática direta do problema que se deseja resolver, ou seja, o objetivo propriamente dito. Enquanto isso, a função aptidão é uma manipulação matemática da função objetivo, de modo que o resultado seja positivo e normalizado. Apesar do caráter didático dessa abordagem, ela não será empregada neste trabalho, isto é, será utilizado um valor de aptidão igual ao resultado da função objetivo, tendo em vista que os problemas a serem estudados permitem esse tratamento direto, facilitando a terminologia e, conseqüentemente, a compreensão.

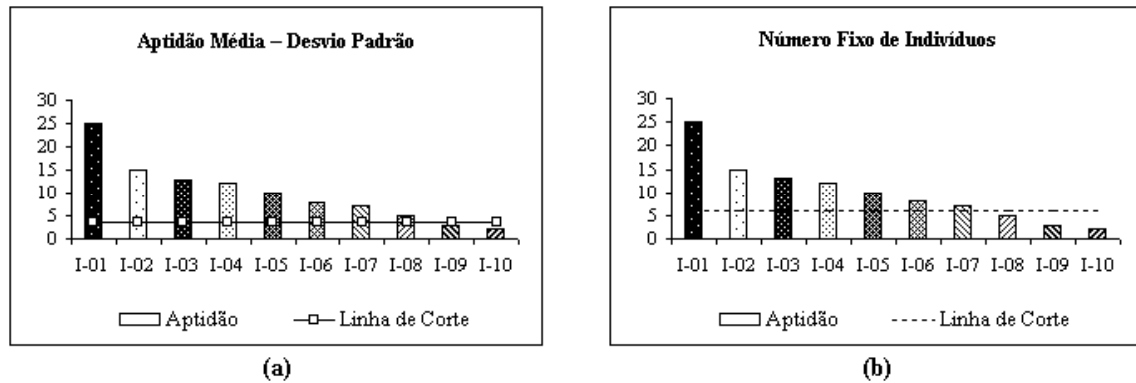
### 3.5.5 - Seleção

#### 3.5.5.1 - Considerações Gerais

Para emular os processos de seleção natural e reprodução, os AG's realizam uma seleção dos indivíduos da população, privilegiando as melhores soluções e gerando descendentes mais qualificados, implementando o mecanismo da sobrevivência do mais apto. Se não houvesse seleção, os AG's perderiam a essência de processo evolutivo e seriam ineficientes, semelhantes a buscas aleatórias. Todavia, a seleção não pode escolher apenas a melhor solução da população atual, já que essa pode não estar próxima da solução ótima global. Portanto, deve-se manter alguma chance de soluções piores participarem do processo de reprodução. Isso posto, as técnicas de seleção podem ser probabilísticas ou mesmo determinísticas, mas todas utilizam o valor da aptidão, isto é, quanto maior esse valor, maior a probabilidade de seleção. As principais técnicas são tratadas a seguir.

#### 3.5.5.2 - Dizimação ou Linha de Corte

Essa é uma técnica determinística bastante simples, que procura evitar erros de amostragem, ou seja, que soluções muito ruins sejam reproduzidas. O processo consiste em ordenar os indivíduos de acordo com o valor da aptidão e remover (dizimar) os indivíduos que tiverem uma aptidão menor que a especificada, representando uma *linha de corte*. É comum ter a linha de corte com valor igual à aptidão média subtraída do desvio padrão ou estabelecer a linha de corte a partir de um número fixo de indivíduos com pior aptidão, como mostram as Figuras 3.3 (a) e (b), respectivamente, para 10 indivíduos (I-01 a I-10).



**Figura 3.3 (a) e (b)** – Linha de corte para a seleção pela técnica da dizimação. (a) Aptidão média menos o desvio padrão. (b) Número fixo de indivíduos.

Após a dizimação, os indivíduos que sobrevivem dão origem à reprodução, através de uma escolha aleatória. A vantagem da dizimação é a simplicidade de implementação, porém, pode produzir uma perda muito rápida da variedade genética da população. Tal perda de variedade faz parte de toda estratégia evolucionária, mas, nesse caso, é preciso ter cuidado para evitar que ela ocorra muito antes de serem percebidos no processo os efeitos favoráveis de uma certa característica dos indivíduos de menor aptidão.

### 3.5.5.3 - Roleta

Essa é uma das mais populares técnicas de seleção, que faz uma analogia entre a área das cavidades de uma roleta e a aptidão relativa dos indivíduos da população, dada em (3.3), tal que indivíduos de maior aptidão têm mais chances de serem selecionados. Como é um processo probabilístico, indivíduos de maior aptidão podem não ser selecionados, assim como, aqueles de baixíssima aptidão podem sobreviver, o que não é de todo ruim, pois preserva uma certa variedade genética, que pode ser útil na evolução da população.

Por outro lado, a roleta permite que um indivíduo de alta aptidão, em relação à média, domine o processo, causando uma pressão seletiva, que tende a diminuir a variedade genética da população rapidamente e produzir uma convergência em poucas gerações (convergência prematura). Um modo de amenizar essa dificuldade é a chamada *roleta ponderada*, que classifica os indivíduos em ordem crescente, segundo suas aptidões, e passa a usar a posição do indivíduo como valor de aptidão, diminuindo a pressão seletiva, como ilustram as Figuras 3.4 (a) e (b), para 10 indivíduos (I-01 a I-10).

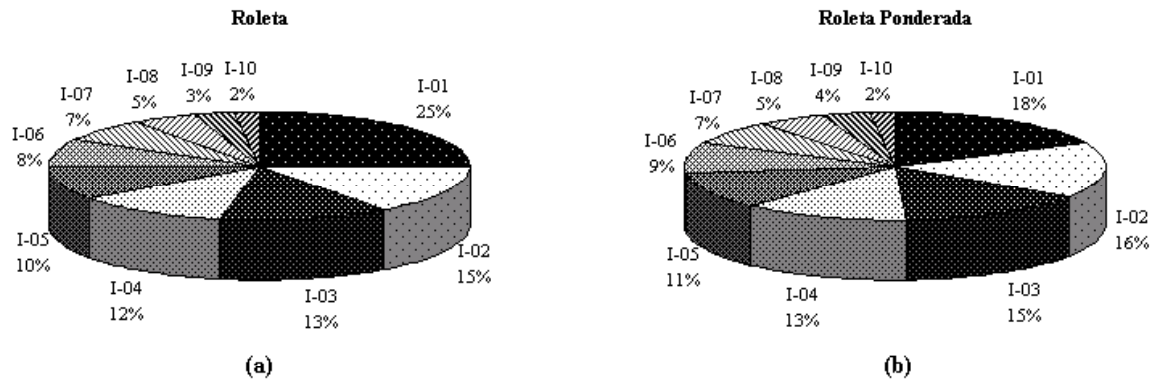


Figura 3.4 (a) e (b) – Seleção pela técnica da roleta. (a) Convencional. (b) Ponderada.

Em todo caso, a roleta será “girada” até alcançar os indivíduos requeridos para a reprodução e definir um algoritmo adequado para implementar esse “giro” da roleta é a maior dificuldade da técnica. Costuma-se somar as probabilidades de seleção dos indivíduos, obtidas de (3.3), até atingir um valor qualquer, escolhido aleatoriamente entre 0 e 1. O último indivíduo que tiver a probabilidade de seleção somada é, então, selecionado. Com relação ao tamanho da população, dado por  $N$ , a técnica da roleta apresenta uma elevada complexidade computacional, proporcional ao quadrado desse tamanho,  $O(N^2)$  [7].

### 3.5.5.4 - Torneio Estocástico

O torneio estocástico usa uma seleção probabilística ou a técnica da roleta para extrair um conjunto de indivíduos da população (comumente, um par), mas apenas o indivíduo de maior aptidão no conjunto é selecionado de fato. Depois da seleção, todos os membros do conjunto são recolocados na população. A técnica é apresentada na Figura 3.5 para uma população de 10 indivíduos com um conjunto extraído de 3 membros. O processo é repetido até atingir o número de indivíduos requerido para a reprodução.

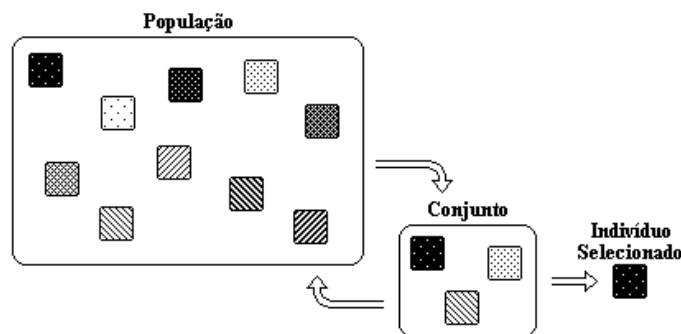


Figura 3.5 – Seleção pela técnica do torneio estocástico.

A técnica do torneio é cada vez mais comum, devido à implementação simples e à baixa complexidade computacional, a qual não depende tanto do tamanho da população,  $N$ , mas sim do tamanho do conjunto extraído,  $n$ , ou seja,  $O(n)$  [7], indicando que, para o caso mais comum de extrair um par de indivíduos ( $n = 2$ ), a complexidade é bastante reduzida. Ademais, testes comprovam que a técnica do torneio comumente trabalha um pouco mais rápido que aquela da roleta, além de evitar dificuldades de convergência [11-12].

### 3.5.6 - Operadores Genéticos

#### 3.5.6.1 - Considerações Gerais

Após a seleção, os indivíduos escolhidos são submetidos a modificações probabilísticas, através dos *operadores genéticos*, que objetivam melhorar a aptidão dos indivíduos ao longo de sucessivas gerações, usando as características significantes adquiridas nas gerações anteriores. As referências bibliográficas registram vários tipos de operadores, sendo boa parte específica para um dado problema ou codificação. Todavia, alguns operadores são genéricos e muito usados, como é o caso da recombinação (também chamada de cruzamento ou *crossover*), que atua na busca local, e da mutação, que realiza uma busca global do espaço de soluções. Além da recombinação e da mutação, têm sido discutidas, como dominância, diploidismo, inversão, diferenciação sexual, duplicação de genes e outras, todas inspiradas em processos genéticos da vida real [8].

Os operadores genéticos proporcionam um processo de *reprodução* e os novos indivíduos produzidos podem ser introduzidos na população de diferentes formas. Isso mostra que pode haver mais um processo no fluxograma do AG, a *substituição*, localizada após os operadores genéticos, visto que, a depender das técnicas adotadas no AG (elitismo, por exemplo), os indivíduos a serem substituídos na população podem não ser aqueles selecionados para a recombinação e a mutação. Quanto às formas de introduzir os indivíduos, elas caracterizam os AG's e têm três tipos bem distintos, descritos a seguir.

- a) *Algoritmo Genético Simples (Simple Genetic Algorithm, SGA)*: Esse tipo de AG é o caso mais básico, havendo a seleção e substituição do mesmo número de indivíduos que a população inicial, criando uma nova população a partir da anterior.

- b) *Algoritmo Genético de Reposição (Replacement Genetic Algorithm, RGA)*: Nesse tipo de AG, apenas um par de indivíduos é selecionado e, normalmente, a substituição também ocorre em um par (há casos de substituir somente um indivíduo).
- c) *Algoritmo Genético de Estado Estável (Steady State Genetic Algorithm, SSGA)*: É um caso intermediário entre o SGA e o RGA, isto é, adota um percentual entre o mínimo ou o máximo de indivíduos para os processos de seleção e substituição.

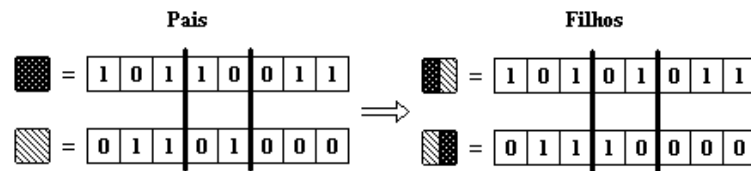
Dessa classificação, conclui-se que, para o mesmo número de avaliações da função objetivo, um RGA possuirá bem mais gerações que um SGA. De acordo com [12], testes demonstram que o SGA exibe uma convergência mais lenta que o SSGA, mesmo este com diferentes percentuais de substituição, pois evita a possibilidade de trocar um grande número de indivíduos de alta aptidão por outros menos aptos, o que ocorre na mudança total da população no SGA. É fato que o SSGA necessita da seleção dos indivíduos a serem substituídos, tarefa inexistente no SGA, onde toda a população é substituída. Porém, nos problemas de engenharia, o cálculo da função objetivo é bastante difícil e supera em muito o custo computacional de qualquer seleção.

### 3.5.6.2 - Recombinação

A recombinação é um processo sexuado, que toma partes dos cromossomos de dois indivíduos (pais) e combina para formar descendentes (filhos), emulando um cruzamento. Comumente, a decisão se haverá recombinação em pares de indivíduos da população advém de uma taxa fixa de probabilidade,  $t_r$ , especificada pelo usuário e que costuma variar entre 0,6 e 0,9 [11-12]. Cada par de indivíduos é obtido pela aplicação de um critério aleatório ou dependente da aptidão, onde os mais aptos são emparelhados entre si, assim como os menos aptos, para acelerar a convergência às custas de uma busca global menos eficiente. Um critério menos comum, mas útil para melhorar a busca global em espaços de busca muito grandes, é o emparelhamento entre os indivíduos mais aptos e menos aptos.

Para aplicar a recombinação no par de indivíduos, escolhe-se um ou mais pontos do cromossomo e efetua-se a troca de segmentos dos genes correspondentes, conforme ilustra a Figura 3.6 para uma recombinação com dois pontos de corte. Não há um consenso sobre a utilidade de usar mais de um ponto de corte e a escolha dos pontos costuma ser aleatória.

No caso de codificação binária, um modelo bastante usado é a *recombinação uniforme*, consistindo de vários pontos de corte, selecionados a partir de um padrão binário do mesmo comprimento dos cromossomos, onde os valores das posições são aleatórios, sendo que “1” indica que deve haver recombinação nos genes correspondentes dos cromossomos selecionados e “0” indica que não deve existir recombinação.



**Figura 3.6** – Recombinação para codificação binária, usando dois pontos de corte.

Devido à natureza contínua da codificação real, a recombinação atua em um gene por vez, isto é, o operador atuará distintamente em cada variável real do problema. Além disso, segundo [14], num AG de codificação real, a “perturbação” dos valores reais dos indivíduos pais representa uma recombinação com um só ponto de corte no cromossomo de codificação binária. Assim sendo, uma forma de implementar a recombinação real é obter o valor dos genes dos indivíduos filhos,  $G_{F1}$  e  $G_{F2}$ , a partir da média ponderada entre os valores dos genes dos indivíduos pais,  $G_{P1}$  e  $G_{P2}$ , tal qual (3.4), onde  $k$  é o fator da ponderação aleatório de 0 até 1, executando a perturbação do valor real dos indivíduos pais, similar à escolha aleatória do ponto de corte na codificação binária [14].

$$G_{F1} = k \cdot G_{P1} + (1 - k) \cdot G_{P2} \quad \text{e} \quad G_{F2} = k \cdot G_{P2} + (1 - k) \cdot G_{P1} \quad (3.4)$$

A escolha apropriada de  $k$  permite “varrer” melhor o espaço de busca, já que aumenta a chance de recombinação nos valores totais dos indivíduos pais, representados pelos bits mais significativos do cromossomo na codificação binária, que provavelmente não seriam alterados, devido à pequena probabilidade de serem selecionados. Entretanto, é possível que haja uma grande tendência em torno do ponto médio do intervalo permitido para o valor dos genes dos indivíduos filhos, o que pode tornar esses valores homogêneos rapidamente, resultando numa convergência prematura. Existem outras metodologias que simulam a recombinação binária, dividindo os valores reais dos genes dos indivíduos pais em duas partes, que devem ser permutadas para gerar os genes dos indivíduos filhos.





Após alterar o(s) gene(s), o indivíduo resultante pode ter ou não melhor aptidão, porém, o propósito da mutação é criar novas soluções de maior variedade genética possível, procurando varrer todo o espaço de busca, mesmo quando o AG está estagnado, evitando que ele fique preso a ótimos locais. Sem a mutação, os AG's não teriam como repor material genético eventualmente perdido com a seleção e efetuariam uma busca com base apenas na informação genética da população inicial, restringindo o espaço de busca.

### **3.5.7 - Condições de Término**

Após a seleção e a modificação pelos operadores genéticos, uma nova geração de indivíduos é criada e inserida na população, que é submetida à avaliação e posterior seleção e modificação. Esse processo é repetido iterativamente, esperando-se que a cada geração a qualidade média dos indivíduos aumente. Decorridas várias gerações, o ideal seria encontrar a solução ótima, mas é possível que apenas boas soluções sejam geradas.

Na prática, também é comum ocorrer de, simplesmente, não poder afirmar se a solução alcançada é um ótimo global (a melhor solução do espaço de busca) ou um ótimo local (no caso de funções multimodais). Com isso, costuma-se adotar critérios práticos de término dos AG's, sendo comuns um número máximo de gerações, um tempo limite de processamento ou uma parada por estagnação, quando, após muitas gerações consecutivas, há pouca (ou nenhuma) diversidade genética na população ou não se observa melhoria na aptidão, indicando um máximo ou mínimo da função. Outrossim, caso a aptidão requerida seja conhecida, pode ser utilizado o critério de erro máximo admissível, no qual o AG é finalizado assim que encontrar um indivíduo com um erro menor que o estipulado.

De todo modo, um controle final tem de ser feito, uma vez que não é possível simular indefinidamente. Entretanto, todas as metodologias de controle citadas apresentam problemas. O número máximo de gerações e o tempo limite de processamento podem encerrar o AG sem investigar todo o espaço de busca. A estagnação da diversidade genética pode terminar prematuramente o AG num máximo local. Mesmo se a aptidão requerida é conhecida, o AG pára no menor erro admissível, quando poderia chegar a um valor de erro nulo. Destarte, a escolha de uma dada metodologia dependerá dos recursos a disposição do usuário do AG, como tempo disponível e capacidade de processamento.

## **3.6 - Implementação de Algoritmos Genéticos**

### **3.6.1 - Problemas Práticos e Soluções**

#### **3.6.1.1 - Considerações Gerais**

A implementação de um AG passa por alguns problemas práticos, que originam críticas sobre os AG's, mormente, devido à incerteza de convergência para a solução ótima e ao grande número de avaliações da função objetivo. Esses problemas e suas soluções mais comuns serão discutidos a seguir, seguindo a abordagem proposta em [7].

#### **3.6.1.2 - Valores de Parâmetros**

O primeiro problema é definir os valores dos parâmetros, ou seja, o tamanho da população e as taxas de recombinação e mutação. Conforme a Seção 3.5, existem valores empíricos recomendados para esses parâmetros, mas, infelizmente, não há regras claras para a escolha. Para amenizar o problema, são usadas desde as formas simples, como partir dos valores médios das faixas sugeridas, até as mais sofisticadas, como usar um AG para otimizar valores de parâmetros. Porém, não há resultados conclusivos dessas discussões, devido à variedade de aplicações e às mudanças a cada ciclo nos valores ótimos dos parâmetros, já que, tipicamente, interagem de forma não-linear, indicando que otimizá-los um por vez não é a melhor maneira [8]. Com isso, para vários pesquisadores é improvável formular previamente uma consideração geral sobre os valores dos parâmetros, reforçando as abordagens de AG's com parâmetros auto-adaptáveis [8-9] (Seção 3.6.2.13).

#### **3.6.1.3 - Erros de Amostragem**

Outra dificuldade prática em AG's surge com os erros de amostragem, isto é, mesmo com a seleção usando métodos probabilísticos “dirigidos”, é pouco provável, mas possível, que os mesmos indivíduos ou apenas indivíduos de baixa aptidão sejam selecionados várias vezes, resultando em perda de variedade genética ou baixa qualidade média nas gerações futuras da população. Conforme apresenta a Seção 3.6.2, existem técnicas bastante variadas para eliminar ou, ao menos, minimizar os erros de amostragem.

#### 3.6.1.4 - Convergência Prematura

Talvez, o obstáculo mais complicado na otimização de funções multimodais seja a convergência prematura, onde o algoritmo se dirige rapidamente para um ótimo local, o que sempre está relacionado à perda de diversidade da população. Isso pode acontecer se há um indivíduo de altíssima aptidão, que, provavelmente, terá inúmeros descendentes nas próximas gerações, eliminando muito cedo a variedade da população. Outra possibilidade do AG convergir prematuramente ocorre se os indivíduos próximos ao ótimo global têm baixa aptidão, o que impede a evolução de “passar” por eles para “chegar” ao ponto ótimo.

Uma forma de evitar a perda de diversidade é aumentar a probabilidade de mutação, explorando mais o espaço de busca, mas isso pode tornar a busca desordenada, assemelhando-se a um método puramente aleatório. Obviamente, o caso oposto, com uma alta probabilidade de recombinação, acelera a adaptação dos indivíduos e pode fazer uma busca localizada demais, ineficaz nas funções multimodais. Nesse ponto, verifica-se que deve haver um equilíbrio entre recombinação e mutação, conhecido como *balanço exploração-adaptação* (*balance exploration-exploitation*), o que é bastante sutil e depende de cada problema. Segundo [8], para produzir o balanço correto na execução do AG, devem-se adaptar as taxas de recombinação e mutação durante a busca (Seção 3.6.2.13).

#### 3.6.1.5 - Tempo de Processamento

Em geral, os AG's podem obter rapidamente soluções, pelo menos, sub-ótimas, analisando somente uma parte do espaço de busca. Todavia, como abordado anteriormente (Seção 3.5.1), uma característica fundamental dos AG's nas aplicações práticas é o tempo de processamento, no qual os cálculos da função objetivo de cada indivíduo são determinantes, até mais que um espaço de busca demasiadamente grande. Sendo assim, um modo direto de reduzir esse tempo é minimizar o número de chamadas da função objetivo.

Para diminuir o tempo de processamento também é possível usar AG's paralelos, com avaliações independentes da função objetivo sendo feitas, ao mesmo tempo, em vários processadores (Seção 3.6.2.15). Para isso, os tempos de comunicação entre processadores e de processamento da função objetivo não devem ser comparáveis. Outrossim, a população pode ser dividida entre os processadores, evoluindo populações diferentes, que permutam

indivíduos, para evitar a convergência prematura (Seções 3.6.2.16 e 3.6.2.17). Destaca-se que a imprevisibilidade dos processos probabilísticos inclusos nos AG's gera inúmeros caminhos de otimização, não permitindo garantir tempos de resposta [10].

### **3.6.1.6 - Problemas Enganadores**

Os problemas enganadores (*deceptive*) podem impedir que o AG encontre o ótimo global, sobretudo, se for usada uma codificação binária. Nesses problemas, há fragmentos de cromossomos que geram alta aptidão nos indivíduos que os possuam separados, mas, se esses fragmentos forem unidos num só indivíduo, geram uma solução de baixa aptidão. As técnicas mais comuns para eliminar problemas enganadores são transformar o espaço de busca (transformação linear, por exemplo) ou usar AG's "bagunçados" (*messy GA's*) [7].

## **3.6.2 - Alternativas de Solução**

### **3.6.2.1 - Considerações Gerais**

Se as técnicas descritas nas Seções 3.5 e 3.6.1 não permitirem solucionar os problemas práticos citados ou caso se deseje aumentar a eficiência da busca genética, existem algumas alternativas de solução a serem utilizadas na implementação dos algoritmos, tratadas a seguir, aproveitando também a abordagem seguida em [7]. Registra-se que, devido ao crescente interesse pelos AG's, existem constantes pesquisas que visam melhorar seu desempenho, dando origem a muitas outras alternativas de solução.

### **3.6.2.2 - Mapeamento Linear**

Para evitar a convergência prematura, a seleção pode ser menos rigorosa nas primeiras gerações do AG, reduzindo a pressão seletiva e deixando indivíduos de baixa aptidão sobreviverem, o que preserva a diversidade da população. Depois de muitas gerações, os valores de aptidão tendem a ser próximos, dificultando que surjam indivíduos melhores. Isso sugere aumentar a pressão seletiva, para reduzir o tempo de processamento. Um modo de controlar a pressão seletiva é o mapeamento linear, impedindo que indivíduos de alta aptidão "dominem" a população no início da busca.

O mapeamento faz a aptidão,  $a(\cdot)$ , ser uma transformação linear da função objetivo,  $f(\cdot)$ , conforme mostra (3.6), onde  $\alpha$  e  $\beta$  são coeficientes determinados a cada geração, até o valor mínimo da aptidão ser zero. Após o mapeamento, indivíduos de aptidão média continuam assim e a aptidão máxima deve ser igual ao produto do valor médio por uma constante (entre 1,2 e 2). Daí, qualquer técnica de seleção da Seção 3.5.5 pode ser aplicada.

$$a(\cdot) = \alpha \cdot f(\cdot) + \beta \quad (3.6)$$

### 3.6.2.3 - “Janela” de Aptidão

Essa técnica é simples e associada a técnicas de seleção convenientes (a roleta, por exemplo), pode impedir erros de amostragem. Consiste em, antes do processo de seleção, subtrair da aptidão de todos os indivíduos o menor valor de aptidão da população, tornando a aptidão mínima igual a zero para não permitir descendentes do indivíduo menos apto.

### 3.6.2.4 - Graduação

A graduação controla a pressão seletiva para diminuir a convergência prematura, através de uma aptidão parcialmente desassociada da função objetivo. A técnica faz uma graduação (ranking) dos indivíduos da população, de acordo com o valor da aptidão, e emprega a seqüência criada, ou uma combinação linear dela, como a nova aptidão de cada indivíduo. A graduação é associada a uma técnica convencional de seleção (Seção 3.5.5), como, por exemplo, a técnica da roleta, originando a roleta ponderada (Seção 3.5.5.3).

### 3.6.2.5 - Compartilhamento

A técnica de compartilhamento é inspirada na natureza, onde espécies distintas e com diferentes funções ecológicas não competem entre si e convivem no mesmo ambiente. Trazendo para o AG, o compartilhamento modifica a aptidão dos indivíduos, reduzindo a competição entre aqueles distantes no espaço de busca. Um exemplo de Goldberg<sup>2</sup> é dado em (3.7), onde a aptidão,  $a(\cdot)$ , depende da distância Euclidiana entre os pontos no espaço de busca,  $\|x_i - x_j\|$ , e a função de compartilhamento,  $\lambda(\cdot)$ , decresce com a distância.

$$a(x_i) = \frac{f(x_i)}{\sum_{j=1}^N \lambda \cdot \|x_i - x_j\|} \quad (3.7)$$

O compartilhamento mantém a diversidade da população e combate a convergência prematura, sendo seguido de qualquer técnica de seleção convencional (Seção 3.5.5). Em funções multimodais, o compartilhamento produz pequenas populações de tamanhos proporcionais aos picos da função onde estão localizadas, não permitindo ao AG convergir para um único ponto, que pode não ser o ótimo global. Contudo, o compartilhamento traz como problemas o grande tempo de processamento no cálculo das distâncias Euclidianas e a dificuldade das pequenas populações convergirem para os picos em que se concentram.

### 3.6.2.6 - Amostragem Estocástica sem Reposição

Essa técnica, também conhecida por *valor esperado*, procura eliminar o erro de amostragem e seu primeiro passo é calcular, através de (3.3), o número esperado de vezes que cada indivíduo será selecionado por uma técnica de seleção da Seção 3.5.5. Então, a cada ciclo, subtrai-se uma unidade do número de seleções calculado para o indivíduo selecionado. Quando o resultado for nulo ou negativo, o correspondente indivíduo não poderá mais ser selecionado e, caso isso aconteça, uma nova seleção será feita. Assim, um indivíduo não terá mais descendentes que a parte inteira do valor calculado mais um.

### 3.6.2.7 - Resto Estocástico

Assim como na técnica anterior, o resto estocástico também procura eliminar o erro de amostragem e tem início calculando o número esperado de indivíduos. De modo determinístico, são atribuídas cópias correspondentes às partes inteiras dos valores esperados, enquanto as partes fracionárias são usadas para compor a técnica da roleta, a fim de completar o processo de seleção. Existe uma variação do resto estocástico, conhecida como *amostragem determinística*, cujo procedimento é idêntico até chegar às partes fracionárias, que, agora, são colocadas numa lista, em ordem decrescente, e as quantidades restantes de indivíduos são extraídas uma a uma, a partir do topo dessa lista, resultando numa técnica totalmente determinística.

### 3.6.2.8 - Eliminação de Duplicatas

A eliminação de duplicatas impede a perda de diversidade e, conseqüentemente, a convergência prematura. A técnica verifica se há indivíduos duplicados na população, após a seleção e os operadores genéticos, e os substitui por novos indivíduos. Porém, a técnica aumenta o tempo de processamento, pois tem de comparar cada indivíduo com o restante da população e, se há duplicatas, substituí-las, tendo de gerar e comparar novos indivíduos.

### 3.6.2.9 - Elitismo

Essa técnica é bastante empregada para melhorar o desempenho do AG e reduzir os erros de amostragem. O intuito é garantir a permanência dos melhores indivíduos (a *elite*) da população, de uma geração para a outra, mesmo que operações genéticas os tenham retirado. Geralmente, os indivíduos de maior aptidão são guardados e, após a seleção e os operadores genéticos, são substituídos no lugar daqueles de pior aptidão. Dependendo do tamanho da população, pode-se manter de um até dezenas dos melhores indivíduos.

### 3.6.2.10 - Geração Contínua

Outro modo de reduzir os erros de amostragem é a técnica da geração contínua, que consiste em usar recombinação e mutação para criar uma nova população, e, a partir da união dessa população com a que lhe deu origem, são selecionados os indivíduos da geração seguinte, usando uma técnica clássica de seleção. Existe o inconveniente de dobrar as avaliações da função objetivo, aumentando bastante o tempo de processamento do AG.

### 3.6.2.11 - Dizimação Periódica

A dizimação periódica procura impedir a convergência prematura em problemas com grande tempo de processamento, que usam populações pequenas, implicando em perda de diversidade. Cada vez que um certo número de gerações é atingido, um processo aleatório ou técnicas de reprodução, como recombinação e mutação, aumentam bastante a população (10 vezes, por exemplo). Logo após, uma seleção rigorosa dizima os indivíduos menos aptos, reduzindo a população ao seu tamanho original. Há o inconveniente de determinar de quanto a população deve aumentar e a periodicidade ideal da dizimação.

### 3.6.2.12 - Super-Seleção

A técnica de super-seleção divide a população em conjuntos de tamanho variável e fixa quantos descendentes cada conjunto irá produzir para a próxima geração. A divisão é feita pela aptidão dos indivíduos para acabar com erros de amostragem e as populações menores aceleram a convergência, reduzindo o tempo de processamento. A quantidade e o tamanho dos conjuntos e o número de descendentes são dificuldades da aplicação.

### 3.6.2.13 - Parâmetros Controlados

Ainda sem resultados conclusivos, uma técnica para corrigir erros nos valores dos parâmetros dos AG's é usar os parâmetros controlados, de acordo com o problema e/ou a geração. O controle dos parâmetros pode ocorrer obedecendo alguma regra determinística (controle determinístico), partindo de alguma informação fornecida pelo próprio algoritmo (controle adaptativo) ou codificando os parâmetros nos cromossomos, de maneira a otimizá-los simultaneamente com a função objetivo (controle auto-adaptativo) [9].

Um exemplo de controle determinístico é otimizar funções unimodais, utilizando códigos Gray e uma taxa de mutação, que depende do tamanho do cromossomo binário [7]. A otimização dos parâmetros do AG através de outro AG, denominado *meta-AG* [7], e o controle da taxa e da faixa de mutação do AG para acelerar a convergência em síntese de arranjos de antenas [20] são exemplos de controle adaptativo. Quanto ao controle auto-adaptativo, um exemplo conhecido são as chamadas *estratégias comunitárias*, nas quais os parâmetros, como a taxa de mutação, são codificados como parte do cromossomo [8].

### 3.6.2.14 - Hibridização

Para reduzir o tempo de processamento e melhorar o resultado final, tem sido freqüente a combinação de AG's com métodos convencionais de otimização, originando os AG's híbridos. O AG varre paralelamente o espaço de busca, fazendo a busca global, e o outro método explora regiões específicas, promovendo a busca local. Os AG's de codificação real combinam mais facilmente com métodos convencionais, já que ambos usam variáveis contínuas. Uma alternativa aos métodos convencionais é usar um AG com pequena população (micro AG), como método de busca local [9].



A implementação dos AG's híbridos pode ser feita de três formas, a saber: executar o AG normalmente até a evolução ficar lenta, quando um método específico leva a busca adiante, partindo do melhor indivíduo da população; "semear" a população com alguns ótimos locais, obtidos por um método de busca local aplicado a pontos iniciais aleatórios; ou usar, desde o início do AG, um método de busca local nas melhores soluções da geração atual, para adicionar os indivíduos resultantes na população da próxima geração.

#### **3.6.2.15 - Processamento Mestre-Escravo**

A técnica clássica de AG's paralelos, chamada de mestre-escravo [9], concentra toda comunicação, seleção e emparelhamento no processador principal (mestre), enquanto envia a função objetivo aos processadores secundários (escravos) para avaliação paralela, com o propósito de diminuir o tempo de processamento. Essa estrutura tem a desvantagem de deixar o processador principal aguardando pelos resultados das avaliações requisitadas, tornando a velocidade limitada pelo nó mais lento de comunicação entre os processadores.

#### **3.6.2.16 - Processamento Insular**

Outra técnica de AG's paralelos é o processamento insular (ilhado) ou distribuído, cujo objetivo é diminuir o tempo de processamento, sobretudo, em problemas com grandes populações. Os AG's insulares usam um modelo de ilha, onde a população é dividida em subpopulações, que são atribuídas a processadores de um computador paralelo. Cada processador executa um AG convencional em sua subpopulação e, periodicamente, troca cópias dos melhores indivíduos com um processador vizinho, num processo conhecido por *migração*. Costuma-se substituir os piores indivíduos da subpopulação pelas cópias recebidas e o processo continua até que alguma condição de término seja atingida.

Evidentemente, as pequenas populações *ilhadas* tendem a convergir mais rápido, tendo um menor tempo de processamento. Essas ilhas de convergência espelham o conceito de *Equilíbrios Pontuados*, mencionado na Seção 3.3, onde a evolução não ocorre gradualmente e sim aos saltos, os quais são obtidos através da migração entre as populações, que perturba o equilíbrio e dá caráter global à busca, evitando a convergência prematura. Estratégias eficientes do uso paralelo dos processadores e a determinação da frequência ideal de migração ainda são assuntos com ampla margem para pesquisa.

### 3.6.2.17 - Processamento Celular

Uma técnica alternativa de AG paralelo é o processamento celular, considerado como um caso particular de *automata celulares* (Seção 3.4). A idéia é ter uma única população e cada processador controla apenas um indivíduo, fazendo uma busca local em sua vizinhança, isto é, seleciona dois indivíduos vizinhos para fazer recombinação e mutação, escolhendo somente o melhor dos descendentes. A técnica visa reduzir o tempo de processamento, o qual é localizado, fato que torna a busca assíncrona e mantém uma boa diversidade na população, de maneira que também evita a convergência prematura.

### 3.6.2.18 - Computadores Genéticos

Os chamados computadores genéticos nascem das várias tentativas de implementar AG's diretamente em hardware, seja usando dispositivos lógicos programáveis, como FPGA's (*Field Programmable Gate Array*), ou computadores paralelos do tipo SIMD (*Single-Instruction-Multiple-Data*). A técnica de implantar o algoritmo diretamente em hardware é um desafio, mas permite ganhos de até três ordens de grandeza na velocidade de execução, quando comparada às técnicas com o algoritmo trabalhado no software.

## 3.7 - Aplicações de Algoritmos Genéticos

### 3.7.1 - Considerações Iniciais

Atualmente, a otimização de aplicações tem se tornado uma tarefa complicada e, muitas vezes, com múltiplos objetivos de otimização (MOO), sendo alguns até conflitantes (Seção 3.2). Isso exige métodos de otimização para múltiplos objetivos, onde os AG's são ideais pela larga variedade de soluções que oferecem [11]. Os AG's atuais contêm codificações mais elaboradas, operadores genéticos específicos e técnicas avançadas, permitindo resolver problemas de grande dimensão e dificuldade. Assim, os AG's têm se popularizado rapidamente em áreas distintas, sobretudo, na engenharia. Nesse contexto, algumas aplicações gerais de AG's, segundo [7], são apresentadas na Seção 3.7.2 e as aplicações associadas à Engenharia Elétrica, como proposto em [6], são destacadas na Seção 3.7.3, salientando que outras referências usadas são citadas explicitamente no texto.

### **3.7.2 - Aplicações Gerais**

Uma aplicação básica para testar métodos de otimização é a resolução de problemas clássicos, como os problemas do vendedor ambulante, PVA, e da mochila, dentre outros. Esses problemas são não-polinomiais, NP's, ou seja, o espaço de busca tem crescimento exponencial com as dimensões do problema. Afirma-se que um algoritmo eficiente para um problema NP pode ser modificado para resolver todos os outros. Assim, os AG's mostram sua eficácia, sendo usados em PVA's de dimensões mais modestas.

Outra aplicação importante dos AG's é no planejamento de tarefas, incluindo a rotina de uma fábrica, a mão-de-obra, os horários de provas de uma universidade etc., onde o objetivo é reduzir o tempo de execução das tarefas e os recursos empregados, diminuindo os custos. Todavia, devido à complexidade e às restrições dos problemas, os AG's usados perdem um pouco do caráter genérico, pois é necessário desenvolver codificações e operadores sofisticados, que exigem conhecimento do problema em questão.

Existem propostas de AG's para otimizar redes neurais artificiais, RNA's, podendo sintetizar redes recorrentes, determinar a topologia de uma rede Kohonen ou construir uma rede perceptron multi-camadas, PMC, que costumam ser experimentais e com processos demorados de tentativa e erro. Desse modo, os AG's têm sido empregados em redes PMC para obter os pesos numa configuração conhecida; achar a configuração da rede para uma tarefa e fazer a síntese total da rede, ou seja, definir a configuração e os pesos.

AG's também são aplicados em otimização de funções não-estacionárias, isto é, ambientes que variam com o tempo. Esses casos ocorrem devido a fatores naturais (como indivíduos inaptos para um clima) ou industriais (como a variação violenta da dinâmica de processos químicos, com o consumo de substâncias), dentre outros. Nos AG's implantados para solucionar essas funções, são comuns problemas com colinas de Hamming, quando a codificação é binária, sendo sugeridas as codificações Gray e real (Seção 3.5.2).

Algumas outras aplicações gerais de AG's são: otimizar problemas matemáticos com funções de raízes reais e complexas [24]; criar modelos econômicos, no processo de inovação e estratégias de concorrência, modelos de sistemas sociais, na evolução da

cooperação e da comunicação, modelos ecológicos, nas relações de simbiose e hospedeiro-parasita, e modelos do sistema imunológico; resolver problemas de transporte linear e não-linear; analisar máquinas de estados finitos; e estudar as relações aprendizagem-evolução.

### 3.7.3 - Aplicações em Engenharia Elétrica

#### 3.7.3.1 - Telecomunicações

A alocação da limitada faixa de frequências dos sistemas de comunicações em canais é um problema difícil, pois a demanda varia com o tempo e a localização (otimização dinâmica) e há inúmeros e contraditórios aspectos (otimização com vários objetivos), como maximizar o tráfego total e minimizar o número de canais. Outrossim, a interferência dentro de cada região e entre regiões adjacentes deve ser controlada e o número de canais alocados numa região é limitado pela demanda e pela disponibilidade de canais e infra-estrutura. Vários trabalhos em redes de comunicação por rádio, como alocar canais para telefonia celular, cuja dimensão pode ter milhares de células e restrições, mostram a eficiência de AG's em redes muito complexas, com resultados iguais ou superiores àqueles de métodos tradicionais, sobretudo, em grandes dimensões.

O planejamento de redes de acesso a serviços de comunicações é outra tarefa complexa e a demanda por serviços de alta velocidade (Internet, vídeo sob demanda etc.) exige a melhoria da rede convencional de pares de fios. As redes de fibras ópticas ou PON (*Passive Optical Network*) são uma alternativa, cujo planejamento tem vários objetivos de otimização, podendo citar o número de divisões e a localização de cada nó na rede física (minimizar a atenuação e a quantidade de fibras utilizadas), o roteamento dos cabos de fibra e os pontos de instalação dos divisores passivos (usar dutos subterrâneos ou postes já existentes), a confiabilidade da rede, a qualidade do serviço e o crescimento futuro da demanda. Os AG's são úteis nesse tipo de planejamento, pois sua grande flexibilidade permite incorporar as muitas restrições do problema e fornecer diversas soluções possíveis.

Analogamente, planejar redes locais de computadores sem fio (*Wireless Local Area Network*, WLAN) é um problema com vários objetivos de otimização. Tais redes são usadas quando o cabeamento é inadequado (indústrias, estações de trabalho móveis ou

robôs) e sua expansão depende da redução de custos, que são proporcionais ao número de estações rádio-base, ERB's, para a cobertura na região da rede. Portanto, deve-se utilizar menos ERB's, posicionando-as estrategicamente, o que depende da distribuição dos terminais de acesso, da intensidade de tráfego e das características de propagação entre estações e terminais. Aqui, os AG's têm demonstrado excelentes resultados na obtenção de um conjunto de Pareto, que satisfaz os objetivos simultâneos a serem otimizados, dando a flexibilidade de escolher entre possíveis soluções para uma dada configuração.

Mais um problema de otimização semelhante é planejar redes de computadores de longa distância (*Wide Area Network*, WAN), estabelecendo ligações (*links*) entre nós de uma rede, que concentram outras sub-redes de computadores, e a configuração deve considerar o tráfego presente e futuro entre os nós, a capacidade e confiabilidade das conexões e o método de roteamento e controle em cada nó (com a Internet, o roteamento dinâmico muitas vezes é mais eficiente). Em tais casos, à medida que o número de nós e conexões aumenta, os AG's têm se mostrado melhores que os métodos tradicionais, tendo sucesso na melhoria e expansão de redes existentes e no projeto da topologia e do tráfego de novas redes. Também há trabalhos com AG's no roteamento dinâmico em tempo real, para suprir cada solicitação com a menor rota possível e com a largura de banda necessária.

Tratando das aplicações em eletromagnetismo, ressalta-se a otimização na síntese dos absorvedores de microondas de múltiplas camadas. A partir de um condutor elétrico perfeito revestido por várias camadas de materiais diferentes, extraídos de uma base de dados, a meta é produzir um absorvedor em banda larga para minimizar a reflexão de ondas com diferentes ângulos de incidência, como, por exemplo, na absorção de pulsos de radar em aviões, onde peso e espessura são críticos. Outros dispositivos semelhantes, como filtros ópticos e superfícies seletivas de frequência (FSS, do inglês), também exigem criteriosa otimização em seus projetos. Em todos os casos, mesmo naqueles de objetivos de otimização conflitantes, os AG's têm tido sucesso, usando técnicas sofisticadas, como codificação híbrida, conjuntos de Pareto e cromossomos comunitários [11-12].

Outra aplicação em eletromagnetismo e essencial nas telecomunicações é otimizar projetos de antenas com vários objetivos e restrições, tais como: elevar a resposta de frequência de antenas dipolo carregadas com circuitos ressonantes passivos; determinar os parâmetros de construção de antenas Yagi; e aumentar a largura de banda de antenas de

microfita. Além disso, cresce a otimização do projeto de arranjos de antenas, estabelecendo tipo, quantidade, disposição e alimentação dos elementos, a fim de controlar o diagrama de radiação para, entre outras coisas, direcionar o lóbulo principal, reduzir os lóbulos laterais, rejeitar sinais interferentes em direções de chegada conhecidas e/ou melhorar a área de cobertura do sinal radiado. Há inúmeros trabalhos utilizando AG's com grande êxito na otimização de todas essas aplicações [4, 9, 11-22].

### 3.7.3.2 - Eletrônica

Os projetos de circuitos eletrônicos com topologia já definida recaem no grupo de problemas de otimização com múltiplos objetivos, pois procuram o valor dos componentes que satisfaçam as especificações iniciais (ganho, banda passante, resposta de frequência, deslocamento de fase, tempo de resposta, distorção harmônica, etc.), o que se torna bastante difícil em circuitos de grande complexidade. Nesse caso, um AG pode buscar valores de componentes (em geral, valores discretos) que otimizem o circuito, considerando um ou mais objetivos, auxiliado apenas por um software de simulação de circuitos eletrônicos (para circuitos digitais, o próprio AG pode fazer a simulação, usando equações lógicas). Na busca de topologias para os circuitos, a Programação Genética, PG, é mais adequada, mas os AG's também podem ser empregados com certas restrições.

Se as funções do circuito forem realizadas por software, manipulando matematicamente um determinado número de amostras do sinal analógico de entrada, tem-se um processamento digital de sinais, cujo desempenho depende muito dos filtros digitais usados. Em geral, esses filtros têm seus coeficientes obtidos por um método matemático predefinido, o que, algumas vezes, demanda algoritmos iterativos de grande complexidade computacional, pois cada coeficiente é uma variável contínua, tornando o espaço de busca enorme, apenas limitado pela precisão desejada. Como alternativa, inúmeras variações de AG's vêm sendo propostas com sucesso para o cálculo dos coeficientes dos filtros.

Esse processamento digital aumenta a demanda por circuitos integrados, CI's, em VLSI (*Very Large Scale Integration*) mais rápidos e complexos, com projetos de múltiplos e conflitantes objetivos, pois a maximização da velocidade de funcionamento e a minimização da potência consumida e da área da pastilha de silício interagem e dependem da quantidade de unidades lógicas. O projeto engloba sintetizar o circuito eletrônico,

agrupar os componentes em macrocélulas funcionais e a definir o layout com as posições das macrocélulas e as rotas dos condutores que as interligam. A aplicação de AG's em projetos de circuitos VLSI tem sido bastante intensa, com grandes resultados na otimização das etapas do projeto (síntese, agrupamento e layout) e até em testes de falhas de circuitos. Alguns softwares tradicionais nos projetos de CI's em VLSI estão integrando AG's.

Assim como nos CI's, o layout das placas de circuito impresso, PCI's, multicamadas depende do projeto e da montagem. No projeto, fatores técnicos (dissipação, proximidade, acesso etc.) e estéticos (tipo, tamanho, distribuição etc.) definem a disposição dos componentes eletrônicos, cujos terminais são interligados por trilhas de cobre. As trilhas são roteadas segundo o esquema do circuito, podendo usar softwares derivados da teoria dos grafos, que são caros e nem sempre obtêm a solução ótima, devido ao custo computacional para PCI's com muitos componentes e ligações. Projetado o layout, deve-se programar as máquinas de montagem dos componentes na PCI, para minimizar os tempos de colocação e soldagem, reduzindo os custos de produção. Os AG's encontram espaço no roteamento e na montagem das PCI's, com resultados promissores na indústria eletrônica.

### 3.7.3.3 - Sistemas de Potência

Há registros de várias aplicações de AG's em sistemas de potência, seja obter a localização ótima de seccionadores, otimizar potência reativa, coordenar relés de proteção, encontrar parâmetros de motores de indução ou operar sistemas de geração e distribuição. Esse último caso requer a previsão da carga nas regiões, baseada em dados históricos, para planejar a oferta de energia elétrica no futuro. Além disso, depende do despacho de carga, que estabelece quais geradores vão suprir a demanda nas regiões, considerando fatores determinísticos (flutuação da demanda com o horário e capacidades de geradores e linhas de transmissão) ou não (troca de energia com outras redes, variações climáticas e manutenções). Portanto, o despacho de carga é um problema complexo e dinâmico, onde os AG's têm se adequado, otimizando a economia e a segurança da operação do sistema.

A reunião desses sistemas de geração e distribuição constitui o sistema integrado de energia elétrica, que normalmente tem redundância na transmissão, para a energia chegar à carga por mais de uma rota. Assim, desligar inadequadamente uma linha de transmissão pode sobrecarregar outras e até produzir “apagões” (*blackouts*). Entretanto, é necessário

fazer manutenções preventivas nas linhas, exigindo um planejamento criterioso, que leve em consideração a minimização dos custos, a demanda regional, as disponibilidades e capacidades dos geradores e a capacidade de transmissão das linhas que serão desligadas e das que ficarão energizadas. Nesse problema de otimização com múltiplos objetivos, os AG's também têm sido úteis, auxiliando o complexo planejamento de manutenção, como na National Grid Plc, empresa que administra as linhas de transmissão na Grã-bretanha.

#### **3.7.3.4 - Automação e Controle**

Problema clássico da automação, o planejamento de trajetórias procura atingir um ponto desejado seguindo uma seqüência de pontos, que representa posições no espaço de trabalho de manipuladores robóticos ou percursos sem obstáculos para robôs móveis. A otimização da trajetória possui vários objetivos, como reduzir a distância, o tempo e o gasto de energia do deslocamento ou fazer a trajetória passar por certos pontos. Isso tudo torna o problema altamente multimodal, multidimensional e complexo, onde os AG's têm alcançado grandes conquistas sobre os métodos tradicionais, codificando com tamanho variável os indivíduos, os quais são possíveis trajetórias com números variáveis de pontos. Além disso, os AG's também estão presentes na definição da cinemática inversa de manipuladores e na otimização dos parâmetros de controle de navegação do robô.

Nos sistemas de controle, o projeto costuma usar métodos algébricos clássicos, que são eficientes na maioria das aplicações práticas. Todavia, os problemas podem conter não-linearidades, sistemas dinâmicos complexos ou lógica fuzzy. Nos projetos de controladores fuzzy, a escolha da forma das funções de pertinência não é trivial, devido à variedade existente, e otimizar a base de regras é uma tarefa multimodal e descontínua, que exige conhecimento empírico do sistema e pode inviabilizar o controle em tempo real (o tempo de processamento cresce com o número de regras). Os AG's podem tratar tais problemas de controle, mormente, os sistemas fuzzy, onde controladores com AG's integrados, que definem a melhor forma das funções de pertinência e o menor conjunto da base de regras, demonstram grande superioridade sobre o procedimento tradicional de tentativa e erro.

Mais um enfoque na área de controle é a identificação de sistemas, que estima os parâmetros de um modelo conhecido de estrutura, a partir de um conjunto de entradas e saídas. Se o sistema é bem caracterizado por um modelo, métodos matemáticos permitem



obter o valor dos parâmetros. Contudo, para sistemas não totalmente conhecidos ou com não-linearidades, ruído e outros fatores complicadores, as abordagens tradicionais podem ser inviáveis. Nesses casos, o problema pode ser abordado por AG's, que possibilitam a identificação de sistemas contínuos ou discretos e lineares ou não-lineares. Ademais, os AG's podem ser aplicados para achar pólos e zeros e modelar sistemas físicos específicos.

## 3.8 - Algoritmos Genéticos: Teoria e Prática

### 3.8.1 - Teorias Sugeridas

Como na maioria dos métodos não determinísticos, é extremamente difícil a análise matemática e computacional dos AG's e não há teorias formais universalmente aceitas. Nessa conjuntura, para compreender melhor os algoritmos, têm sido construídos modelos matemáticos exatos de um AG básico, capturando os detalhes em operadores. O primeiro registro foi a *teoria dos esquemas*, de John H. Holland<sup>1</sup> e D. E. Goldberg<sup>2</sup> [7]. Na teoria, cada *esquema* é um conjunto de um ou vários cromossomos e aqueles com aptidão maior que a média têm um número *exponencialmente* crescente de descendentes. Cabe aos AG's escolher automaticamente o melhor meio para gerar os esquemas mais aptos.

Outra teoria sobre os AG's é obtida das cadeias finitas de Markov, que descrevem trajetórias probabilísticas sobre um conjunto finito de estados [7]. AG's básicos têm tido resultados interessantes, onde jamais há convergência para um ótimo global, se não houver *elitismo*, preservando o melhor indivíduo. Para alguns pesquisadores, a abordagem teórica mais correta do comportamento dos AG's é fazer uma analogia com a Mecânica Estatística da Física, ou seja, em vez de se prender à composição genética exata de cada população, deve-se visar leis de comportamento geral do AG, descritas por estatísticas macroscópicas, como a aptidão média da população e a simetria média nos cromossomos [8].

Ademais, há teorias sofisticadas e/ou restritas a casos específicos, mas alguns as definem como fúteis exercícios matemáticos, que não mostram o poder de processamento dos AG's. Melhor que produzir modelos matemáticos exatos do cálculo de cada indivíduo é compreender como a evolução muda a estrutura da população, pois permite adotar teorias gerais dos efeitos dessas mudanças em parâmetros e outros detalhes dos AG's [8].

### **3.8.2 - Regras Práticas**

Os AG's resolvem com rapidez e confiabilidade problemas difíceis de otimização, descobrindo rapidamente regiões de alta qualidade em vastos espaços de busca. Após isso, os AG's, podem demorar a convergir e somente são recomendáveis se a função a ser otimizada é desconhecida ou possui restrições à utilização de métodos convencionais. Com isso, num problema onde esses métodos estejam descartados, a limitação fundamental dos AG's é o tempo de execução, nele os cálculos da aptidão dos indivíduos são determinantes. Entretanto, em muitos problemas práticos, sobretudo, no eletromagnetismo, a velocidade de convergência, freqüentemente, não é tão importante quanto alcançar uma solução [12].

Nesse caso, há regras práticas que podem ser seguidas para utilizar os AG's [7]. A maioria delas enfatiza que o AG deve ser bem fundamentado na descrição do problema, usando todas as informações disponíveis e realmente importantes para a solução. Para problemas amplamente multimodais, os AG's podem ter grande utilidade, sendo muitas vezes preferível obter uma solução sub-ótima, num tempo viável, a "vagar" em busca da solução ótima absoluta. Os AG's são particularmente efetivos para achar um ponto próximo ao máximo global no domínio de uma função multimodal e de alta dimensão [12].

Porém, para problemas cuja função a ser otimizada permita métodos convencionais em algumas regiões, uma regra interessante afirma que se deve executar o AG por até 60% do tempo disponível de solução, armazenando os melhores resultados, para deixar apenas regiões promissoras do espaço de busca, onde um método convencional é empregado para realizar uma busca local no tempo restante [7]. Essa regra ratifica a hibridização de AG's com outros métodos, tendo em vista que nenhum método de otimização é perfeito e diversas áreas têm comprovado a eficácia dessas "miscelâneas".

### **3.8.3 - Perspectivas**

Depois de permanecerem confinados em laboratórios por longo tempo, os diversos modelos de Inteligência Computacional, IC (Seção 3.4), têm se integrado, formando um ramo novo e promissor das Ciências de Computação, de valor prático comprovado. Nesse escopo, o propósito dos AG's não é solucionar todos os problemas de otimização, mas ser

uma técnica útil e flexível para abranger vários tipos de problemas a partir de pequenas alterações no algoritmo, inclusive quando as técnicas convencionais são ineficazes. No caso da engenharia, o principal motivo de sucesso é a solução dos problemas de projeto, que traz um ganho econômico, já que os AG's, direta ou indiretamente, geram algum tipo de lucro, melhorando o desempenho ou a qualidade do produto/processo [6].

O estudo e a análise de AG's são essencialmente não analíticos, dependendo bastante da simulação [10]. Assim, ainda há muito espaço para a pesquisa de intervalos ideais para os parâmetros, da importância dos operadores genéticos e das condições de convergência. Para [8], se a evolução na natureza muda a aptidão e também a codificação genética dos organismos, para evoluir estruturas complexas, os AG's devem aumentar o tamanho e a complexidade dos indivíduos, evitar o rompimento genético de uma parte útil da codificação e ter regiões distintas do genótipo e do fenótipo regulando outras.

Pesquisas com AG's vem procurando desenvolver modelos híbridos com redes neurais e modelos aplicáveis a sistemas de tempo real, além de aplicações industriais de alto desempenho. Para [12], os AG's devem ser um dos primeiros métodos considerados, quando se depara com um novo problema de otimização em eletromagnetismo. O próprio uso de AG's é uma importante inovação como método de engenharia, sendo, cada vez mais, assimilado e difundido no meio profissional e nos currículos das universidades [6-7].

### **3.9 - Conclusões**

Este Capítulo discutiu os algoritmos genéticos dentre os métodos de busca e otimização, tratando características desses algoritmos, como o histórico, as analogias com a natureza, a classificação na computação evolucionária, a estrutura de funcionamento e a implementação com seus problemas e soluções mais comuns, além de alternativas de solução mais sofisticadas. Outrossim, algumas aplicações, sobretudo na Engenharia Elétrica, e as principais teorias sugeridas, regras práticas e perspectivas dos algoritmos genéticos foram analisadas. Destarte, ao lado do Capítulo 2, as discussões deste Capítulo completam a fundamentação teórica necessária à compreensão dos estudos realizados neste trabalho, que visam o controle do diagrama de radiação de arranjos de antenas usando algoritmos genéticos, conforme as aplicações propostas no Capítulo 4.

## Capítulo 4 - Aplicações Propostas

### 4.1 - Introdução

Um problema que tem obtido grande destaque nas aplicações de AG's em eletromagnetismo é a otimização de arranjos de antenas [4, 9, 11-22]. Uma aplicação dessa otimização é controlar o diagrama de radiação, obtendo maior diretividade para direções desejadas e rejeitando interferências em direções conhecidas. Essa rejeição só é possível se os números de elementos do arranjo e de sinais a serem separados forem comparáveis. Nesse aspecto, conforme o Capítulo 2, existem várias técnicas para controlar os diagramas dos arranjos, seja através da geometria dos elementos (disposição espacial e distância entre os mesmos), dos tipos de antenas empregados ou dos sinais de excitação (amplitude e fase) de cada elemento.

Se comparada às demais, a última técnica é bastante interessante, pois tem grande flexibilidade, durabilidade e baixo custo, sendo conhecida como controle eletrônico do diagrama. Através desse controle da alimentação dos elementos, é possível implementar o arranjo de varredura (*scanning array*), variando o lóbulo principal da direção normal (*broadside*) até a direção axial (*end-fire*) ao eixo do arranjo, além de estabelecer o nível da radiação em direções distintas do lóbulo principal (lóbulos secundários), evitando interferências, regiões sem cobertura (“sombra”) e perda de potência na direção principal.

Há inúmeros métodos de calcular os parâmetros do controle eletrônico, desde os determinísticos convencionais ou dedicados a um problema específico, até os probabilísticos, como os algoritmos genéticos, discutidos no Capítulo 3. Esses têm alcançado grande êxito, atraindo cada vez mais pesquisas, por não dependerem de restrições do problema (ponto de partida da busca pré-estabelecido e espaços de busca contínuos e diferenciáveis), atenderem a múltiplos objetivos de otimização simultaneamente, possuírem um processamento relativamente rápido (trabalham paralelamente em vários pontos do espaço de busca e usam operações matemáticas simples) e serem fáceis de adaptar a outros problemas e de hibridizar com outros métodos.

## 4.2 - Controle Eletrônico do Diagrama de Radiação

### 4.2.1 - Considerações Iniciais

A combinação de arranjos de antenas e processamento de sinais no espaço e no tempo permite obter o controle eletrônico do diagrama de radiação de modo robusto, dinâmico e relativamente simples, o qual, comumente, é executado sobre o fator de arranjo, adequando a característica de radiação à aplicação desejada. Na prática, o controle eletrônico pode ser feito por divisores de potência, atuando sobre a amplitude, e deslocadores de fase, alterando a fase de alimentação dos elementos do arranjo, sendo o projeto de controle um compromisso entre diretividade, RSSL e largura do feixe (Seção 2.4.1).

No estudo do controle do diagrama de radiação, é comum aplicar arranjos de elementos isotrópicos, facilitando os projetos, que são extrapolados para outros elementos usando (2.16). Além disso, por ter grande aceitação prática, servir de base para compor antenas mais complexas e acarretar menor esforço computacional, devido à formulação concisa e ao controle do diagrama de radiação ocorrer apenas em elevação, o arranjo com distribuição linear de  $N$  elementos (Figura 2.13) foi adotado para os estudos a serem desenvolvidos neste trabalho. Assim, os métodos determinísticos convencionais e o método probabilístico dos algoritmos genéticos para calcular os parâmetros do controle eletrônico são apresentados nas Seções seguintes.

### 4.2.2 - Métodos Convencionais

#### 4.2.2.1 - Considerações Gerais

Para problemas mais simples de síntese de arranjos de antenas, onde existe apenas um objetivo a ser otimizado (como o nível dos lóbulos secundários, por exemplo), os métodos determinísticos convencionais já são consagrados, sendo utilizados com bastante sucesso. Ademais, com auxílio de algum método específico, podem também produzir o chamado arranjo de varredura, através do controle de fases independentes,  $\beta_n$ , ou progressivas,  $\beta$ , para direcionar o lóbulo principal de radiação (Seção 2.4.2).

#### 4.2.2.2 - Arranjo Uniforme

Dentre os métodos determinísticos convencionais para determinar os parâmetros do controle eletrônico, o mais simples é o *arranjo uniforme*, onde há uma amplitude de alimentação constante em todos os elementos. Sendo um caso particular do arranjo linear que foi tratado na Seção 2.4.2, onde os coeficientes de alimentação,  $A_n$ , são iguais, o arranjo uniforme tem como característica marcante uma alta diretividade do lóbulo principal, ao passo que possui um baixo RSL (em torno de  $-13$  dB) [1], ou seja, um valor elevado e indesejável de lóbulos laterais. Isso é esperado, já que a amplitude é constante e não pode determinar o nível dos lóbulos secundários, estando disponível apenas o controle da fase para fazer a varredura com o lóbulo principal.

#### 4.2.2.3 - Arranjo Binomial

Outro método determinístico convencional de obter os parâmetros do controle eletrônico é o *arranjo binomial*, cujo nome se deve aos coeficientes de alimentação,  $A_n$  (Seção 2.4.2), serem obtidos da expansão em série binomial (ou do triângulo de Pascal). Esse método também possibilita a varredura com o lóbulo principal, além de reduzir bastante o nível dos lóbulos laterais, porém, produz uma baixa diretividade do lóbulo principal [1], ao contrário do caso uniforme. Outro problema, que compromete o uso do arranjo binomial em casos práticos é a brusca variação nos valores do triângulo de Pascal. Isso origina inúmeros valores nulos na alimentação, devido à normalização, pois, se comparados ao nível máximo, os valores extremos são muito pequenos, o que os anula no arredondamento para os níveis de alimentação disponíveis (valores de  $A_n$ ).

#### 4.2.2.4 - Arranjo Dolph-Tschebyscheff

Derivado dos polinômios de Tschebyscheff, o arranjo Dolph-Tschebyscheff é mais um método determinístico convencional de determinar os parâmetros para o controle eletrônico do diagrama de radiação [1, 25]. Esse método é bastante utilizado na prática, pois consiste num compromisso entre os arranjos uniforme e binomial, isto é, apresenta boa diretividade do lóbulo principal, excelente valor de RSL e variações aceitáveis nos níveis exigidos para a alimentação, além de também possibilitar a varredura angular com o lóbulo principal, variando as fases de excitação ( $\beta_n$  ou  $\beta$ , conforme a Seção 2.4.2).

### 4.2.3 - Método dos Algoritmos Genéticos

Como descrito na Seção 3.1, os métodos determinísticos de otimização, sejam eles analíticos, numéricos ou enumerativos podem falhar quando há não-linearidade, ruído, descontinuidade, inexistência de derivadas, multimodalidade, vários objetivos de otimização ou vastos espaços de busca (sem ponto de partida pré-estabelecido). No caso de grandes espaços de busca, ou seja, com enorme número de possibilidades de solução, esses métodos pesquisam um ponto por vez, inviabilizando o caso enumerativo, onde se deve testar todas as possíveis soluções. Com tudo isso, normalmente, os métodos determinísticos ficam restritos a uma certa classe de problemas, sob condições específicas.

Nessas situações, em que os métodos determinísticos não se aplicam, costumam-se utilizar os métodos probabilísticos, como os AG's, que exploram espaços de busca de grandes dimensões e manipulam um amplo número de restrições. A flexibilidade dos AG's permite que sejam aplicados com êxito nas mais diversas áreas, sem depender de restrições do problema e atendendo a múltiplos objetivos de otimização simultaneamente, trabalhando paralelamente em vários pontos do espaço de busca, para diminuir o tempo de processamento. Em contrapartida, esse tempo pode ser um problema, devido ao grande número de operações exigido pelos AG's, que também podem atingir um resultado final sub-ótimo, cuja solução pode estar na hibridização com outros métodos, executando um refinamento da busca ao final do processo, como sugerido na Seção 3.8.2.

Um exemplo de emprego dos AG's é a síntese de arranjos de antenas complexos, com vários objetivos de otimização, tais como posicionamento do lóbulo principal e de "nulos", aumento do nível de RSSL, redução da largura de feixe e diagramas de radiação específicos. Esse tipo de síntese é um problema não-linear e, mesmo associando os métodos determinísticos convencionais descritos anteriormente com outros específicos (como o *gradiente*), para ter mais de um objetivo de otimização, tais métodos ficam vulneráveis às dificuldades com ótimos locais, se tornando ineficientes para a otimização [16]. Assim, mesmo que os AG's venham a requerer uma grande quantidade de cálculos, ao final do processo, eles superam os resultados conseguidos pelos métodos convencionais [17]. Com tudo isso e mais aquilo que foi exposto no Capítulo 3, os AG's foram selecionados como método computacional a ser aplicado nos estudos deste trabalho.

## 4.3 - Descrição das Aplicações Propostas

### 4.3.1 - Considerações Iniciais

Com base nos Capítulos e Seções anteriores, foi proposto otimizar o controle do diagrama de radiação de arranjos de antenas usando o método probabilístico dos AG's, abordando três aplicações, todas com estudos divulgados nas referências bibliográficas [4, 12, 14-17], permitindo a comparação e conseqüente validação dos resultados a serem obtidos neste trabalho. Tais aplicações são descritas em detalhes nas Seções seguintes, abordando seu contexto prático e sua conceituação teórica, inclusive com as expressões pertinentes, que regem o comportamento dos arranjos, sendo sobre essas expressões, em última análise, que o processo de otimização deve atuar.

### 4.3.2 - Posicionamento do Feixe e Redução de Radiações Indesejáveis

Dentro do contexto do controle eletrônico do diagrama de radiação de arranjos de antenas, uma aplicação clássica consiste em determinar a alimentação dos elementos constituintes do arranjo, de modo a posicionar o lóbulo principal numa direção preestabelecida e reduzir ao mínimo a transmissão ou recepção de radiações em direções indesejáveis, ou seja, o nível dos lóbulos secundários. Alguns exemplos práticos dessa aplicação são encontrados em radares de varredura, enlaces de telecomunicações, sistemas de comunicação móvel celular com reuso de frequência e enlaces de estações terrenas com satélites, entre outros. Na Figura 4.1, ilustra-se o cone de varredura de um radar instalado numa aeronave para fazer inspeção de solo.

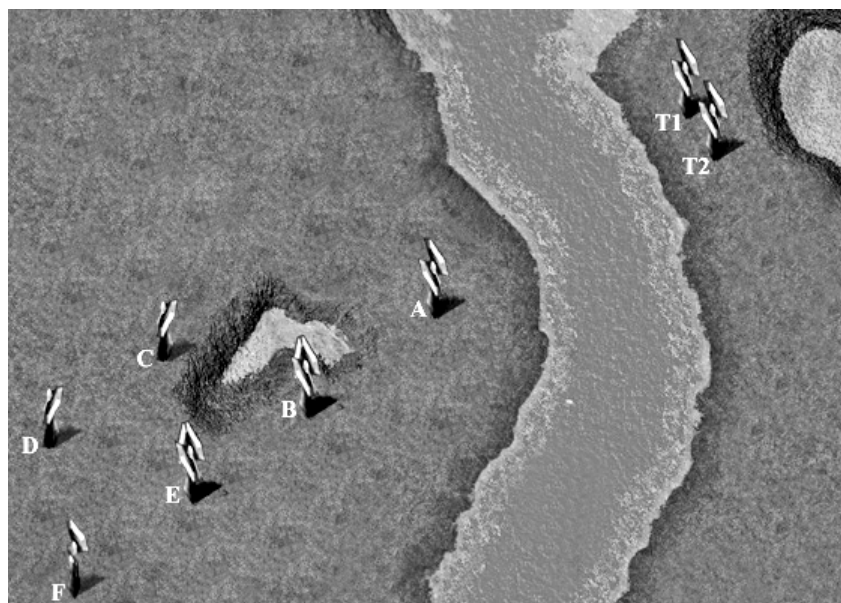


**Figura 4.1** – Ilustração do cone de varredura de um radar instalado numa aeronave para fazer inspeção de solo.



Na Figura 4.2 é ilustrada uma possível rede de transmissão, através de enlaces de rádio com visada direta, numa região rural. As torres de **A** até **F** estão localizadas em propriedades de um complexo agroindustrial, de modo a formar uma rede de voz e dados. Já as torres **T1** e **T2** iniciam o processo de transmissão até outros complexos, onde se concentram todas as comunicações e informações e se faz o acesso, via satélite, a outras redes, como a Internet. Tendo em vista a importância da comunicação estabelecida e a distância relativamente curta entre esse e os demais complexos, foi adotado um enlace de rádio reserva na transmissão (iniciado por **T2**), que permanece desligado e só é acionado, através do ajuste do feixe de **A**, em caso de pane no enlace titular (iniciado por **T1**).

Apesar das antenas permitirem a transmissão em diferentes canais de frequências, há a grande possibilidade de expansão da rede e possível saturação do número de canais, o que poderá produzir interferências recíprocas, sendo importante, desde já, que todas as antenas tenham feixes diretivos e um alto valor de RSL. Mesmo com essas precauções, os enlaces mais próximos ou aqueles de maior potência (devido à maior extensão, como os enlaces de transmissão, entre **A** e **T1** ou **T2**) têm grandes chances de causar interferências nas antenas de enlaces com alinhamentos semelhantes. Isso pode requerer que “nulos” dos diagramas de radiação das antenas afetadas sejam posicionados nas direções de visada direta com as antenas geradoras das interferências.



**Figura 4.2** – Ilustração de uma possível rede com enlaces de visada direta numa região rural.

Os exemplos das Figuras 4.1 e 4.2 enfatizam a importância de controlar o diagrama de radiação das antenas ou de seus arranjos, determinando a direção do lóbulo principal e maximizando o valor do RSSL. Disso, a aplicação proposta nesta Seção tem por objetivo exercer esse controle para o caso de arranjos de antenas, determinando o ajuste apropriado da alimentação de seus elementos. No entanto, para realizar o estudo dessa aplicação, é preciso estabelecer algumas condições iniciais de operação, como será descrito a seguir.

Sem perda de generalidade e observando a Seção 4.2.1, é escolhido um arranjo linear de elementos isotrópicos, visando simplificar as análises. Considera-se o sistema de coordenadas cartesianas em duas dimensões da Figura 2.13, com os eixos no plano horizontal. O eixo “x” está orientado na direção de propagação e o arranjo está disposto ao longo do eixo “z”, consistindo de 40 elementos,  $2M = 40$ , espaçados uniformemente de  $\frac{1}{4}$  do comprimento de onda,  $d = \lambda/4$ , e simetricamente distribuídos em relação à origem. Em geral, o acoplamento é desprezado para  $d \cong \lambda/2$ , mas é adotado  $d = \lambda/4$  com base nas referências bibliográficas, a fim de facilitar as comparações dos resultados a serem obtidos.

Quanto à alimentação dos elementos, é interessante limitar a quantidade de níveis possíveis, já que um número elevado dificulta a implementação do arranjo (exige mais rigor nos divisores de potência). Então, com base em [4], adota-se oito níveis diferentes de amplitude,  $A_n$ , incluindo o zero, e uma variação de  $-180^\circ$  a  $180^\circ$  para a fase progressiva entre elementos adjacentes,  $\beta$ . Com essas condições de operação, o fator de arranjo,  $FA$ , é dado por (2.24), que normalizada (segundo [1]) e com o número de onda substituído,  $k = 2\pi/\lambda$ , é rerepresentada em (4.1), onde  $\theta$  varia de  $0^\circ$  a  $180^\circ$  (de acordo com [4, 12, 16-17])<sup>3</sup>.

$$FA_{2M}(\theta) = \sum_{n=1}^M A_n \cdot \cos \left[ (2n-1) \cdot \left( \frac{\pi d}{\lambda} \cdot \cos \theta + \beta \right) \right] \quad (4.1)$$

De posse do fator de arranjo, o diagrama de radiação pode ser traçado a partir da intensidade de radiação,  $U$ , obtida em (2.17), para elementos isotrópicos. Essa expressão é reproduzida para o caso linear (apenas em  $\theta$ ) por (4.2), dada em dB e normalizada pelo

<sup>3</sup> A consideração de  $\theta$  variando de  $0^\circ$  a  $180^\circ$  pode ser explicada pelo fato do diagrama ser idêntico no lado oposto ( $180^\circ$  a  $360^\circ$ ) ou pela existência de planos de terra nos arranjos.

valor máximo de  $FA$ , fazendo o valor máximo do diagrama ser 0 dB. A direção do lóbulo principal é chamada de  $\theta_0$  e o nível dos lóbulos secundários é medido pela relação das amplitudes dos lóbulos principal,  $A_p$ , e maior secundário,  $A_s$ , o RSSL, conforme (2.19), copiada para (4.3). Na aplicação em questão, optou-se por um RSSL maior ou igual a 30 dB, para a transmissão com  $\theta_0$  igual a  $90^\circ$  (*broadside*), e 27 dB (3 dB abaixo), para os demais ângulos, que exigem razoável alteração do diagrama, dificultando o controle.

$$U_{dB}(\theta) = 20 \cdot \log\left(\frac{FA}{\max(FA)}\right) \quad (4.2)$$

$$RSSL = 20 \cdot \log\left(\frac{A_p}{A_s}\right) \quad (4.3)$$

### 4.3.3 - Rejeição de Interferências com Direções de Chegada Conhecidas

Outra aplicação clássica do controle eletrônico do diagrama de radiação de arranjos de antenas está nos chamados problemas de *direção de chegada* (*Direction of Arrival, DoA*), que visam separar múltiplos sinais num mesmo canal de frequência, através de algoritmos de filtragem espacial, em conjunto com as antenas adaptativas (Seção 2.1). Um problema de *DoA* ocorre quando sinais interferentes de potências elevadas dificultam ou mesmo impedem a recepção do sinal desejado, seja degradando a relação sinal-ruído ou saturando o nível de entrada do receptor, mesmo para o feixe bem posicionado e o RSSL máximo. É possível rejeitar tais interferências direcionando “nulos” do diagrama de radiação em suas direções de chegada, caso sejam conhecidas ou possam ser descobertas.

Assim como foi feito para direcionar o lóbulo principal na Seção 4.3.1, no posicionamento dos “nulos”, controla-se a alimentação dos elementos constituintes do arranjo de antenas responsável pela transmissão ou, no caso mais comum, pela recepção. Esse procedimento altera o diagrama de radiação, mas acarreta outras conseqüências, como reduzir a diretividade e o RSSL ou alargar o lóbulo principal. Todavia, deve haver um limite aceitável para essas degradações, criando um compromisso de projeto (conforme indica a Seção 4.2.1) em prol da rejeição do sinal indesejado. Na prática, a rejeição de sinais interferentes é bastante utilizada, como em atividades militares (*guerra eletrônica*) ou casos extremos do exemplo da Figura 4.2 da Seção 4.3.2.

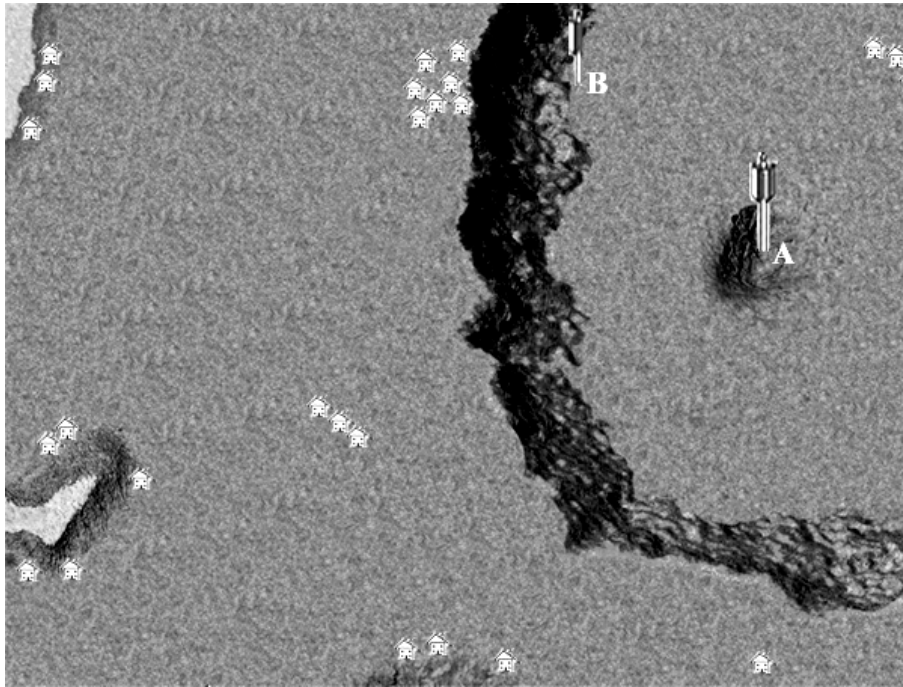
Em tais casos, constata-se que expansões da rede podem requisitar repetições das frequências de transmissão, o que, mesmo com as precauções tomadas, podem tornar os enlaces mais próximos ou aqueles de maior potência sujeitos a interferências pelos sinais dos demais enlaces com alinhamentos semelhantes. Assim, é útil posicionar “nulos” do diagrama de radiação na direção de chegada desses sinais indesejáveis, observando o compromisso citado para com o RSL e a largura do feixe.

Especificamente, para transmissões com arranjos de antenas de até três canais de frequência,  $f_1$ ,  $f_2$  e  $f_3$ , o enlace de **A** para **T1** (ou **T2**) tem uma transmissão em  $f_1$ , o que requer uma frequência diferente, no caso,  $f_2$ , entre **A** e **B**, para impedir a saturação nas antenas de **A**. Seguindo esse critério e evitando deixar a mesma frequência em enlaces com alinhamentos próximos, a Tabela 4.1 mostra as frequências dos enlaces. Constata-se que **C** tem o caso mais crítico, pois seu alinhamento permite interferências dos enlaces **A-T2** e **E-F**, cujos ângulos das direções de chegada são iguais a  $135^\circ$  e  $10^\circ$ , respectivamente, com respeito à linha axial da torre **C** (a linha normal,  $90^\circ$ , está no sentido do feixe de radiação).

ENLACE	FREQÜÊNCIA
<b>A-T1</b> (ou <b>A-T2</b> )	$f_1$
<b>A-B</b>	$f_2$
<b>B-C</b>	$f_1$
<b>B-E</b>	$f_3$
<b>E-D</b>	$f_2$
<b>E-F</b>	$f_1$

**Tabela 4.1** – Frequências dos enlaces da Figura 4.2 para 3 canais possíveis.

Outra aplicação da rejeição de interferências é mostrada na Figura 4.3, que esboça uma rede de telefonia fixa rural com a tecnologia WLL (*Wireless Local Loop*), operando no sistema CDMA (*Code Division Multiple Access*, ou Acesso Múltiplo por Divisão de Código). Os sistemas WLL podem fornecer acesso a populações remotas, onde a infraestrutura por redes de fios seria demasiadamente cara [26]. Na Figura 4.3, através dos arranjos de antenas nas torres das Estações Rádio Base, ERB's, **A** ou **B**, o usuário acessa a rede, usando um pequeno aparelho receptor conectado a um telefone. Inicialmente, a ERB **A**, de grande potência e situada num local alto e central, fazia a cobertura de toda a região. Porém, o surgimento de uma comunidade num local de cobertura deficiente (região de sombra), próxima à encosta da serra, exigiu a colocação da ERB **B**.



**Figura 4.3** – Representação de uma rede de telefonia fixa rural com WLL-CDMA.

O surgimento de tal ERB trouxe problemas, pois nos sistemas CDMA o controle de potência é primordial, fazendo todos os usuários se conectarem num mesmo e mínimo nível e qualquer potência adicional irá aumentar o ruído global no canal. Além disso, o CDMA pode ser visto como uma grande célula, incorporando várias outras para poder cobrir uma grande área, tudo na mesma frequência [27], no entanto, quanto mais células, maior a interferência entre elas, resultando num tráfego menor que o de uma única célula isolada. Outrossim, a rede em questão é de telefonia fixa e não necessita do “*soft handoff*” oferecido pelo *sistema móvel CDMA*, que monitora um usuário móvel por duas ou mais células locais e compara a qualidade dos sinais para usar o canal da célula de melhor sinal.

O conjunto de todas essas condições indica que não deve haver superposição dos diagramas de radiação das ERB's **A** e **B**, uma vez que não há necessidade de controle de potência para “*soft handoff*”, fazendo com que a presença do sinal de uma ERB na área de cobertura da outra resulte apenas no aumento da interferência. Dessa forma, a solução empregada é fazer a ERB **B** extremamente direcional, com um feixe de largura e apontamento bem definidos e um altíssimo RSSL, para cobrir somente a área a sua frente, enquanto que a ERB **A** deixa de ser omnidirecional e passa a ter um “nulo” no seu diagrama de radiação exatamente na direção de cobertura de **B**.

Nesse ponto, fica, então, verificada a importância da aplicação do controle eletrônico do diagrama de radiação, no propósito de direcionar seu(s) “nulo(s)” para rejeitar interferências com direções de chegada conhecidas ou que possam ser descobertas. O estudo de tal controle em arranjos de antenas é o objetivo desta Seção e pressupõe as mesmas condições iniciais de operação estabelecidas na Seção 4.3.2, além do acréscimo de algumas condições específicas e da definição de “nulo” no diagrama, descritos abaixo.

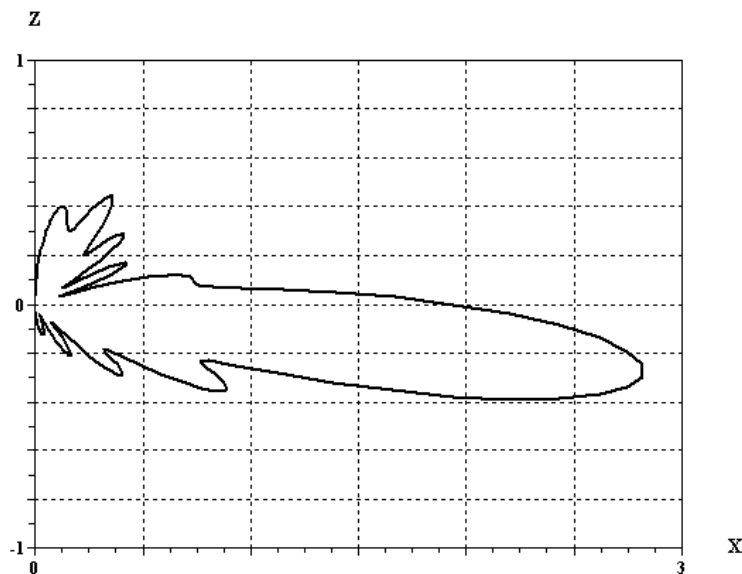
Neste trabalho, adota-se um número máximo de dois sinais interferentes simultâneos, os quais já possuem direções de chegada conhecidas,  $\theta_{11}$  e  $\theta_{12}$ . Já o “nulo” é definido como o local do diagrama de radiação com capacidade desprezível de transmissão ou recepção de sinal, quantificada em 50 dB abaixo do valor máximo, ou seja, a Relação entre os valores do diagrama de radiação nas direções do Máximo e da Interferência, RMI, deve ser igual ou maior que 50 dB. Ademais, ratificando o compromisso de projeto ulteriormente citado, adota-se, para essa condição de operação, um RSSL maior ou igual a 15 dB em todas outras direções distintas daquelas do lóbulo principal e dos “nulos”.

#### 4.3.4 - Supressão de Regiões Sem Cobertura

Mais uma aplicação do controle eletrônico do diagrama de radiação é a supressão de regiões sem cobertura (também chamadas de regiões de “sombras”), comuns próximo às bases de estruturas altas onde são montados os arranjos de antenas, devido à “nulos” do diagrama nas direções rumo ao solo, sob o lóbulo principal. Semelhantemente às aplicações anteriores, com uma alimentação adequada nos elementos do arranjo é possível mudar a forma do diagrama, de modo a obter contornos mais “suaves” e preencher os “nulos”, eliminando as regiões sem cobertura, além de redirecionar o ângulo de inclinação (*tilt* elétrico) e aumentar o RSSL. A Figura 4.3 ilustra um caso, onde a ERB **B** eliminou a região de “sombra” na encosta da serra, cuja ERB **A** não tinha cobertura eficiente.

Uma situação semelhante a essa é observada em [5], como ilustra o diagrama controlado apresentado na Figura 4.4, que explora a combinação de dipolos e arranjos colineares de antenas omnidirecionais para modelar a forma do diagrama de radiação vertical, ou no plano de elevação, aumentando a potência do campo próximo ao solo, onde as antenas dos usuários estão localizadas. A modelagem acarreta numa redução de

diretividade, se comparado ao mesmo arranjo na configuração *broadside*, o que faz parte do compromisso de projeto, como descrito na Seção 4.3.3. Em compensação, segundo [5], o controle do diagrama gera uma diferença na potência do campo de várias dezenas de decibéis em algumas regiões, nas quais haveria deficiências de cobertura para distâncias relativamente próximas à estrutura de fixação do arranjo, se o controle não fosse realizado.



**Figura 4.4** – Diagrama de radiação controlado de um arranjo linear de dipolos [5].

O exemplo da Figura 4.4 ratifica, mais uma vez, o valor de controlar o diagrama de radiação dos arranjos de antenas, nesse caso, para suprimir uma região sem cobertura de sinal. Então, o objetivo desta Seção também é estudar esse controle executado eletronicamente, mas as condições iniciais de operação, agora, são aquelas dadas em [5], de tal forma que é usado um arranjo linear de dipolos.

Essa alteração é importante, já que envolve elementos não-isotrópicos, dos quais o dipolo destaca-se por ser um radiador básico para a indústria de telecomunicações, onde os arranjos lineares polarizados verticalmente dominam o mercado de propagação em *site* fixo. Isso acontece porque arranjos lineares alcançam boa diretividade omnidirecional na banda de comunicações pessoais, com estruturas de perfil estreito, que não requerem torres ou telhados especiais e caros para a montagem e oferecem pequena superfície de carga para ventos. Sendo assim, dipolos formando um arranjo colinear constroem um diagrama omnidirecional no plano horizontal e altamente diretivo no plano vertical [5].

O arranjo linear do problema proposto tem seis dipolos de meia-onda, dispostos sobre o eixo “z”, que é orientado verticalmente, enquanto o eixo “x” fica na direção horizontal. Os dipolos estão posicionados acima da origem do sistema de coordenadas e o espaçamento entre eles é de 0,86 comprimento de onda,  $d = 0,86\lambda$ . Em [5], para inclinar o lóbulo principal  $7^\circ$  abaixo da linha horizontal no plano de elevação e modelar os lóbulos laterais, preenchendo os nulos do diagrama, controla-se as amplitudes (normalizadas) e fases da alimentação, conforme mostra a Tabela 4.2, cujos valores de [5] são usados como referência, uma vez que o propósito da aplicação desta Seção é justamente determiná-los.

Elemento	1	2	3	4	5	6
Amplitude (Normalizada)	0,307	0,372	0,438	0,438	0,438	0,438
Fase (Radianos)	0	0,175	0,393	0,655	1,384	2,845

**Tabela 4.2** – Amplitudes normalizadas e fases de alimentação do arranjo linear em [5].

Como na Seção 4.3.2, para evitar mais rigor nos divisores de potência, a quantidade de níveis possíveis para as amplitudes de excitação é limitada e, com base em [5], adota-se uma amplitude normalizada,  $A_n$ , variando de 0 até 0,5, com incremento de 0,001. Já a fase, ao contrário de [5], não muda livremente e tem uma variação progressiva entre elementos adjacentes,  $\beta$ , sendo mantida a faixa de  $-180^\circ$  a  $180^\circ$  das aplicações anteriores. Ratifica-se que o ângulo de inclinação (*tilt* elétrico) escolhido para o lóbulo principal é de  $7^\circ$  abaixo da linha horizontal,  $\theta = 97^\circ$ , tendo em vista que valores típicos variam de  $3^\circ$  a  $15^\circ$  [5].

Da Figura 4.4 ainda é verificado que a maior Relação entre os valores Máximo e Mínimo, RMM, do diagrama de radiação é de 66, em  $\theta = 175^\circ$ . Em ângulos maiores, o RMM é muito grande, devido à dificuldade em obter o valor do diagrama, que tende a zero ao chegar à torre de transmissão,  $\theta = 180^\circ$ , sendo esse o único “nulo” admissível. Nesse caso, adota-se o diagrama com  $RMM = 66$  e  $\pm 5\%$  de tolerância, para  $\theta$  variando de  $97^\circ$  a  $175^\circ$ ,  $\theta_{\min} = 97^\circ$  e  $\theta_{\max} = 175^\circ$ , o que elimina “nulos” sob o lóbulo principal de radiação.

Após fixar o ângulo de inclinação do lóbulo principal e o valor de RMM, o RSLI deve ser o maior possível, gerando um grande desafio para o algoritmo de otimização, pois



são estabelecidos objetivos opostos, isto é, o RMM procura fixar o valor mínimo do diagrama e o RSLM procura reduzi-lo. Como o ângulo de inclinação e o valor de RMM são críticos na aplicação, devem ser priorizados e o RSLM deve ser flexível, não sendo estabelecido um limite inferior, como nas outras aplicações.

Para efetuar as análises desejadas, além dessas condições de operação, é preciso ter o diagrama de radiação, cujas expressões são determinadas a seguir, de acordo com a abordagem de [5], que traça o diagrama a partir do *ganho diretivo normalizado do arranjo*,  $D_{A, Norm}$ . O *ganho diretivo*,  $D_g$ , de (2.7) é reescrito em (4.4) para os dipolos orientados na vertical. A intensidade de radiação é dada apenas no plano de elevação,  $U_e$ , e é expressa em (4.5), resultado da substituição de (2.31) em (2.3) para dipolos colineares de meia-onda,  $\theta_0 = 0$  e  $l = \lambda/2$ , lembrando que o número de onda é substituído,  $k = 2\pi/\lambda$ .

$$D_g(\theta) = \frac{4\pi U_e(\theta)}{P_{rad}} \quad (4.4)$$

$$U_e(\theta) = \frac{\eta |I_0|^2}{8\pi^2} \cdot \frac{\cos^2\left(\frac{\pi}{2} \cdot \cos(\theta)\right)}{\sin^2(\theta)} \quad (4.5)$$

Verifica-se que, a menos das alterações realizadas ( $\theta_0 = 0$ ,  $l = \lambda/2$  e  $k = 2\pi/\lambda$ ), a expressão (4.5) é idêntica à (2.32) sem o fator de arranjo,  $FA$ , já que esta trata de um elemento isolado e não de um arranjo. Quanto à potência radiada,  $P_{rad}$ , ela é apresentada em (4.6), segundo [1], como uma função da corrente de excitação,  $I_0$ , com a resistência de radiação do dipolo de meia-onda dada na Seção 2.3.1,  $R_r = 73,08 \Omega$ . Para uma propagação no espaço livre,  $\eta = \eta_0 = 120\pi$ , e substituindo (4.5) e (4.6) em (4.4), obtém-se (4.7), que dá o ganho diretivo do dipolo de meia-onda. A raiz quadrada de (4.7) é igual a  $F(\theta)$ , que é parte da expressão de  $P_c(\theta)$ , na referência [5]. De (4.7), o ganho diretivo máximo do dipolo de meia-onda, ou sua diretividade, ocorre em  $\theta = 90^\circ$ , sendo igual a 2,15 dBi.

$$P_{rad} = \frac{R_r \cdot |I_0|^2}{2} \therefore P_{rad} = \frac{73,08 \cdot |I_0|^2}{2} \quad (4.6)$$

$$D_g(\theta) = 4\pi \cdot \left\{ \frac{\eta_0 |I_0|^2}{8\pi^2} \cdot \frac{\cos^2\left(\frac{\pi}{2} \cdot \cos(\theta)\right)}{\sin^2(\theta)} \right\} \cdot \frac{2}{73,08 \cdot |I_0|^2} \quad (4.7)$$

$$\therefore D_g(\theta) = \frac{\eta_0}{\pi \cdot 73,08} \cdot \left[ \frac{\cos^2\left(\frac{\pi}{2} \cdot \cos(\theta)\right)}{\sin^2(\theta)} \right]$$

De [5],  $P_c(\theta)$ , dada em (4.8), é composta pelo produto entre  $F(\theta)$  e o fator de arranjo linear para elementos distribuídos acima da origem das coordenadas e com amplitudes distintas,  $A_n$ , e fases independentes (não progressivas),  $P_n$ , compondo a tensão de alimentação,  $V_n = A_n \cdot e^{jP_n}$ . Todavia, como explicado, neste trabalho serão consideradas fases progressivas entre elementos adjacentes, ou seja,  $V_n = A_n \cdot e^{j(n-1) \cdot \beta}$ . Destarte, sabendo que  $z_n = (n-1) \cdot d$ , chega-se à expressão (4.9), onde  $FA_D$  é o fator de arranjo nesse caso.

$$P_c(\theta) = F(\theta) \cdot \sum_{n=1}^N [V_n \cdot e^{jkz_n \cos\theta}] \therefore P_c(\theta) = \sqrt{D_g(\theta)} \cdot \sum_{n=1}^N [V_n \cdot e^{jkz_n \cos\theta}] \quad (4.8)$$

$$P_c(\theta) = \sqrt{D_g(\theta)} \cdot \sum_{n=1}^N [A_n e^{j(n-1)\beta} \cdot e^{jk(n-1)d \cos\theta}] \quad (4.9)$$

$$\therefore P_c(\theta) = \sqrt{D_g(\theta)} \cdot \sum_{n=1}^N [A_n e^{j(n-1)(kd \cos\theta + \beta)}] \therefore P_c(\theta) = \sqrt{D_g(\theta)} \cdot FA_D$$

A expressão (4.9) elevada ao quadrado e dividida pelo valor médio quadrático das amplitudes de excitação indica o *ganho diretivo normalizado do arranjo*,  $D_{A, Norm}$ , conforme (4.10), que é uma consequência de (2.32) e (4.4) aplicadas nesse caso.

$$D_{A, Norm}(\theta) = \frac{I}{\sum_{n=1}^N (A_n)^2} \cdot [P_c(\theta)]^2 \therefore D_{A, Norm}(\theta) = \frac{I}{\sum_{n=1}^N (A_n)^2} \cdot D_g(\theta) \cdot (FA_D)^2 \quad (4.10)$$

Costuma-se usar os conceitos de expansão em séries para simplificar (4.10) e evitar problemas com divisões por zero nos cálculos. Então, truncando a expansão em série do co-seno para o quarto termo ( $x^6 / 6!$ ) e fazendo  $x = (\pi/2) \cdot \cos\theta$ , chega-se a (4.11).

$$\begin{aligned} \cos(x) &= 1 - \frac{x^2}{2!} + \frac{x^4}{4!} - \frac{x^6}{6!} + \dots \therefore \cos(x) \Big|_{x=\frac{\pi}{2} \cdot \cos\theta} \cong 1 - \cos^2\theta \\ \therefore \cos\left(\frac{\pi}{2} \cdot \cos\theta\right) &\cong \text{sen}^2\theta \end{aligned} \quad (4.11)$$

Colocando o resultado de (4.11) em (4.10), obtém-se a expressão final de  $D_{A, Norm}$ , (4.12). O diagrama de radiação também pode ser plotado em decibéis, de modo que a expressão é dada, em dB, por (4.13).

$$D_{A, Norm}(\theta) = \frac{I}{\sum_{n=1}^N (A_n)^2} \cdot \frac{\eta_0}{\pi \cdot 73,08} \cdot \text{sen}^2(\theta) \cdot \left\{ \sum_{n=1}^N [A_n e^{j(n-1)(kdcos\theta + \beta)}] \right\}^2 \quad (4.12)$$

$$D_{A, Norm, dB}(\theta) = 20 \log \left( \frac{\sqrt{D_{A, Norm}(\theta)}}{\max(\sqrt{D_{A, Norm}(\theta)})} \right) \quad (4.13)$$

Por uma questão de padronização com as outras aplicações, 4.3.2 e 4.3.3, a expressão (4.13) é normalizada pelo seu valor máximo, de tal maneira que o valor máximo do diagrama será 0 dB.

## 4.4 - Conclusões

No decorrer deste Capítulo, foram propostas aplicações da otimização do controle eletrônico do diagrama de radiação de arranjos de antenas, usando o método probabilístico dos algoritmos genéticos, com base nos Capítulos anteriores. Tratou-se das vantagens e desvantagens dos algoritmos genéticos nesses casos, comparando-os com métodos determinísticos convencionais para esse tipo de otimização. Também foram explicados os objetivos de três aplicações para o controle eletrônico do diagrama de radiação, abordando o seu contexto prático e a sua conceituação teórica, inclusive com as expressões do comportamento dos arranjos. Assim, foram sugeridas e especificadas três situações dessas aplicações, que devem ser otimizadas por um algoritmo genético especialmente desenvolvido, cujas simulações e resultados serão objeto de estudo do Capítulo 5.

## **Capítulo 5 - Simulações e Resultados**

### **5.1 - Introdução**

A otimização de um projeto demanda experiência e tempo, sendo uma tarefa bastante difícil. Por isso, é cada vez maior a busca por ferramentas que auxiliem essa tarefa e sejam flexíveis, podendo ser aplicadas em diferentes áreas e problemas, requisitando somente pequenas adaptações [6]. Conforme o Capítulo 3, essas características podem ser encontradas nos algoritmos genéticos, AG's, que podem oferecer um conjunto ótimo ou quase-ótimo de soluções, manipulando inúmeras restrições impostas aos projetos das mais diversas áreas, indicando serem uma ferramenta bastante útil não só pela otimização, mas também na flexibilidade, como um método genérico.

Um ramo que os AG's têm tido grande êxito é a otimização do projeto de arranjos de antenas, estabelecendo tipo, quantidade, disposição e alimentação dos elementos, a fim de controlar o diagrama de radiação, direcionando o lóbulo principal, reduzindo os lóbulos laterais, rejeitando sinais interferentes em direções de chegada conhecidas e melhorando a área de cobertura do sinal radiado [4, 9, 11-22]. Existem várias técnicas para controlar os diagramas dos arranjos, destacando o controle eletrônico ou da alimentação de cada elemento do arranjo, pela flexibilidade, durabilidade e baixo custo, possibilitando posicionar o lóbulo principal, estabelecer o nível da radiação nas outras direções e evitar interferências, regiões sem cobertura e perda de potência na direção principal.

Nesse contexto, a ferramenta de otimização do controle eletrônico do diagrama de radiação, como na maioria dos problemas de otimização, deve retratar da melhor maneira possível o problema a ser solucionado, sem perder a flexibilidade oferecida pelos AG's e mencionada anteriormente. Sendo assim, além de englobar todas as restrições impostas inicialmente no projeto, a ferramenta tem de oferecer simulações das mais diversas situações de operação, cujos resultados devem facilitar as análises para que a melhor solução disponível (ou um conjunto dessas soluções) seja extraída.

## 5.2 - Ambiente Computacional

### 5.2.1 - Considerações Iniciais

Após adotar o modelo linear de arranjo de antenas (Seção 4.2.1) e selecionar o método computacional dos algoritmos genéticos (Seção 4.2.3), foi escolhido o software Scilab<sup>4</sup> como ambiente computacional para desenvolver a primeira etapa da fase inicial da ferramenta de otimização do controle do diagrama de radiação (Capítulo 1), já que é um ambiente matemático de fácil programação e contém funções algébricas, estatísticas, de banco de dados e gráficas. Além disso, o Scilab oferece uma interface simples e fácil de usar, é distribuído gratuitamente, possui grande compatibilidade com outros softwares para tratamento matemático e as funções criadas pelo usuário são meros arquivos de texto com instruções em programação estruturada, sendo completamente portáteis entre diferentes hardwares e sistemas operacionais, sem necessidade de ajustes ou re-compilações.

### 5.2.2 - Histórico

O Scilab é um sistema voltado para aplicações numéricas constituindo-se num poderoso ambiente de desenvolvimento de aplicações científicas e de engenharia [28]. É comum tratar o Scilab como ambiente matemático e não como linguagem de programação; porém, alguns autores o consideram uma linguagem estruturada, expansível e livre [29]. Iniciado em 1990, como Basile, só ganhou o nome de Scilab após ser coordenado pelo Scilab Group, com pesquisadores dos projetos INRIA Metalau<sup>5</sup> e ENPC Cermics<sup>6</sup> [29]. Os códigos fonte foram disponibilizados na Internet em 1994 e, desde então, há um grande número de contribuições, em diversas áreas, que podem ser acessadas na página do Scilab. Atualmente, o Scilab é empregado em indústrias, pesquisas e ensino pelo mundo inteiro, sendo mantido pelo Consórcio Scilab, formado em 2003 e composto por 19 membros.

---

<sup>4</sup> O Scilab é uma marca registrada da INRIA, Copyright © 1989-2005. INRIA-ENPC. A página do Scilab na Internet é: [www.scilab.org](http://www.scilab.org).

<sup>5</sup> Institut de Recherche en Informatique et en Automatique – INRIA, [www.inria.fr](http://www.inria.fr) e Méthodes, algorithmes et logiciels pour l'automatique – Metalau, [www-rocq.inria.fr/metalau/](http://www-rocq.inria.fr/metalau/).

<sup>6</sup> École Nationale des Ponts et Chaussées – ENPC, [www.enpc.fr](http://www.enpc.fr) e Centre d'Enseignement et de Recherche en Mathématiques, Informatique et Calcul Scientifique – Cermics, [cermics.enpc.fr](http://cermics.enpc.fr).

### 5.2.3 - Características Funcionais

O Scilab é um software gratuito (*free software*), portátil e distribuído com o código fonte aberto (*open source software*), estando disponibilizado, também, em versões pré-compiladas para várias plataformas [28-31]. A partir de um ambiente para a resolução de problemas numéricos, a iteração com o Scilab pode ocorrer de duas formas. Na primeira, funcionando como uma sofisticada e poderosa calculadora, os comandos são digitados diretamente no *prompt*. Na segunda, trabalhando como um ambiente de programação, um conjunto de comandos é digitado num arquivo de texto (*script*), chamado de função, que é carregado e executado. Segundo [31], uma resposta rápida, para explicar o que é Scilab, consiste em dizer que é um pseudoclone livre do Matlab<sup>7</sup>, tendo sintaxe muito parecida, exceto por pequenas diferenças, como nos gráficos.

O Scilab é bastante flexível e sua linguagem é de fácil aprendizado, permitindo gerar gráficos, manipular matrizes (concatenação, acesso e extração de elementos, transposição, adição e multiplicação) e trabalhar com polinômios, funções de transferência, sistemas lineares e grafos. No que tange à programação, como foi dito anteriormente, ela ocorre através de uma função, gravada em scripts, e, para facilitar a criação dessas funções, o Scilab disponibiliza editor de texto, estruturas de dados sofisticadas, interpretador e uma linguagem de programação de alto nível. A sintaxe é simples, com dados próprios para cálculos científicos e de manipulação amigável, conduzindo a programas compactos e legíveis, muito menores que programas em outras linguagens [29].

Pode-se considerar que o Scilab é uma linguagem de scripts, porque ele pode servir para qualquer aplicação em algoritmos com algumas linhas, mas também é uma linguagem de programação e sua biblioteca contém quase 100.000 linhas de código escritos em funções [29]. Outrossim, além de agregar numerosas bibliotecas para álgebra linear, cálculo de matrizes (inclusive esparsas), integração numérica, otimização, sistemas de equações diferenciais (explícitas e implícitas) etc., como foi projetado para ser um sistema aberto, é permitido definir novos tipos de dados e realizar operações sobre eles.

---

<sup>7</sup> O Matlab é uma marca registrada da MathWorks, © 1994-2005 The MathWorks, Inc..

Também estão disponíveis diversas extensões, como Gráficos 2D e 3D com animação, polinômios e funções racionais, simulador de sistemas dinâmicos por diagramas de blocos (Scicos), controle clássico e robusto, otimização diferencial e não diferencial, processamento de sinais, grafos e malhas, estatística, interface com ambientes de programação simbólica e muito mais. Todas essas estruturas e extensões estão disponíveis também em forma de funções que, juntamente com aquelas elaboradas pelos usuários, podem ser passadas para outras funções como argumento de entrada ou de saída, favorecendo a programação modular, que facilita o acesso para análises e eventuais alterações futuras.

O Scilab também suporta o desenvolvimento de conjuntos de funções voltadas para aplicações específicas, os chamados *toolboxes*, muitos dos quais são disponibilizados gratuitamente, como o ANN (*Artificial Neural Network Toolbox*), para redes neurais, o FISLAB (*Fuzzy Logic Inference Toolbox*), para lógica difusa, e o FRACLAB (*Fractal, Multifractal and Wavelet Analysis Toolbox*), para análise com fractais e *wavelets* [30]. Existe, ainda, a possibilidade de executar o Scilab em máquinas paralelas ou em redes de estações de trabalho (*Network of Workstations, NOW's*), através de uma extensão chamada de Scilab Paralelo [30], onde programas podem ser executados em estações remotas, com comunicação entre eles e os resultados agregados.

#### **5.2.4 - Condições de Uso**

O fato de empregar um software gratuito e de código fonte aberto traz algumas vantagens, conforme descrito em [30], como ter a versão mais atualizada sempre disponível e estar trabalhando legalmente, podendo copiar, distribuir e modificar o software ou divulgar os programas desenvolvidos e resultados obtidos sem nenhuma restrição. Nesse aspecto, o Scilab é totalmente livre para uso não comercial [28]. Segundo [31], o Scilab é um software livre para o uso acadêmico e industrial, havendo apenas, em caso de redistribuição, as restrições convencionais de divulgação dos créditos e uma única exigência específica, a de que os usuários enviem uma notificação (por meio eletrônico já é suficiente). Num trabalho anterior deste autor [32], foi feita uma consulta ao Scilab Group, acerca do uso do Scilab em programas de computador empregados como ferramentas de trabalho, cuja resposta é transcrita a seguir:

*“It is clear with the license of the 2.6 release; you can do what you want to do without authorization, on your personal computer or for your company. The limitations are for "derived" or "composite" commercial products. You can do commercial toolboxes, use Scilab and distribute it without authorization. If you want to develop a new software being a modification of the internal code of Scilab and sell it, you need a specific authorization (the idea is to protect the uniqueness of the product). Don't hesitate to ask other questions if necessary. Good scilabing. Simply we will be very glad to know what you do with Scilab (if it is not a confidential use).”*

### **5.2.5 - Considerações do Uso do Scilab**

Todas as características funcionais descritas para o Scilab acolhem as necessidades da aplicação proposta neste trabalho, a qual é extremamente dependente de operações numéricas (iterações com matrizes) e estatísticas (geração de números randômicos por distribuições normais), manipulações de banco de dados em arquivos e saídas gráficas. Isso demonstra que foi adequada a escolha do Scilab, como ambiente computacional para desenvolver a primeira etapa da fase inicial da ferramenta de otimização do controle do diagrama de radiação de arranjos lineares de antenas (Capítulo 1). Além das referências bibliográficas citadas sobre o Scilab, é importante ressaltar que referências definitivas permanecem sendo os manuais que acompanham o software, na forma de sua *Ajuda*.

Outro ponto importante diz respeito às versões do Scilab que foram utilizadas. Inicialmente, foi adotada a versão 3.0, visto que era a mais recente do período (Dez/2004). No decorrer do trabalho, passou a ser usada a versão 3.1.1 (Nov/2005), que era a versão estável mais atualizada e disponível na página do Scilab na Internet. No entanto, constatou-se que essa versão aumentava o tempo de processamento do CPU em torno de 40 %, quando comparando simulações semelhantes na mesma versão do AG, conforme mostram os Apêndices I a VII, cujas planilhas registram o CPU e a versão do Scilab usados na simulação (ver as colunas *Tempo* e *CPU – Clock*). Assim sendo, optou-se por voltar a fazer as simulações na versão 3.0, só utilizando a versão 3.1.1 para manipular os dados obtidos e gerar os gráficos de saída, pois é mais completa e permite trabalhar com dados de todas as versões (muitas simulações ainda foram realizadas na versão 3.1.1).



## 5.3 - Ferramenta Computacional O3AG

### 5.3.1 - Considerações Iniciais

A ferramenta computacional O3AG – Otimização de Arranjos de Antenas com Algoritmos Genéticos foi idealizada para auxiliar o projeto de arranjos de antenas, otimizando sua síntese a partir da aplicação do método probabilístico dos AG's, sobre as técnicas para controlar diagramas de radiação de arranjos de antenas descritas no Capítulo 2, como alimentação (amplitude e fase), tipo, disposição e distância dos elementos. Para tanto, numa fase inicial, foram concebidas três etapas de desenvolvimento, compostas por aplicar o AG para otimizar o controle da alimentação de um arranjo linear de qualquer tipo de antena, depois fazer o mesmo controle para qualquer disposição do arranjo (linear, planar, circular etc.) e, por fim, controlar também a distância entre os elementos.

A primeira dessas etapas é objeto de estudo deste trabalho e trata de elaborar um AG, o mais genérico possível, para compor três funções em Scilab, uma para resolver cada aplicação proposta no Capítulo 4, a fim de validar a eficácia da utilização do AG. Essas funções foram escritas em arquivos de texto, cujos nomes contêm a palavra O3AG, seguida da versão da função e da extensão “sci”, típica de scripts do Scilab (por exemplo, o3ag\_v2.1.sci). As versões de cada função indicam a aplicação tratada (1, 2 ou 3) e evoluções em seu desenvolvimento, seja com respeito ao AG ou a complexidade da abordagem da aplicação. Cada versão das funções é descrita sucintamente, a seguir.

- a) *Função O3AG Versão 1.0*: Determina o valor otimizado das amplitudes e da fase progressiva de excitação de um arranjo de antenas linear de M elementos isotrópicos, a fim de posicionar o lóbulo principal de radiação numa direção desejada e reduzir o nível dos lóbulos laterais. O algoritmo genético usa codificação real, seleção por torneio estocástico, recombinação, mutação e elitismo.
- b) *Função O3AG Versão 1.1*: Determina o valor otimizado das amplitudes e da fase progressiva de excitação de um arranjo de antenas linear de M elementos isotrópicos, a fim de posicionar o lóbulo principal de radiação numa direção desejada e reduzir o nível

dos lóbulos laterais. O algoritmo genético usa codificação real, seleção por torneio estocástico, recombinação “máximo-mínimo”, mutação e elitismo.

- c) *Função O3AG Versão 2.0*: Determina o valor otimizado das amplitudes e da fase progressiva de excitação de um arranjo de antenas linear de M elementos isotrópicos, a fim de posicionar o lóbulo principal de radiação numa direção desejada, reduzir o nível dos lóbulos laterais e rejeitar sinais interferentes advindos de uma direção conhecida. O algoritmo genético usa codificação real, seleção por torneio estocástico, recombinação “máximo-mínimo”, mutação e elitismo.
- d) *Função O3AG Versão 2.1*: Determina o valor otimizado das amplitudes e da fase progressiva de excitação de um arranjo de antenas linear de M elementos isotrópicos, a fim de posicionar o lóbulo principal de radiação numa direção desejada, reduzir o nível dos lóbulos laterais e rejeitar sinais interferentes advindos de duas direções conhecidas. O algoritmo genético usa codificação real, seleção por torneio estocástico, recombinação “máximo-mínimo”, mutação e elitismo.
- e) *Função O3AG Versão 3.0*: Determina o valor otimizado das amplitudes e da fase progressiva de excitação de um arranjo de antenas linear de M elementos isotrópicos, a fim de posicionar o lóbulo principal de radiação numa direção desejada, evitar a ausência de sinal na região de cobertura e reduzir o nível dos lóbulos laterais. O algoritmo genético usa codificação real, seleção por torneio estocástico, recombinação “máximo-mínimo”, mutação e elitismo.
- f) *Função O3AG Versão 3.1*: Determina o valor otimizado das amplitudes e da fase progressiva de excitação de um arranjo de antenas linear de M dipolos, a fim de posicionar o lóbulo principal de radiação numa direção desejada, evitar a ausência de sinal na região de cobertura e reduzir o nível dos lóbulos laterais. O algoritmo genético usa codificação real, seleção por torneio estocástico, recombinação “máximo-mínimo”, mutação e elitismo.

O caráter genérico adotado no algoritmo visa abranger as restrições impostas pelas aplicações do Capítulo 4 apenas nos parâmetros de entrada e na função objetivo, retratando da melhor maneira o problema e mantendo a flexibilidade característica dos AG's.

Outrossim, as simulações oferecidas pela ferramenta abrangem vários casos de operação de cada aplicação, possibilitando analisar o comportamento do digrama de radiação do arranjo e determinar a melhor solução disponível (ou um conjunto dessas soluções). A partir da comparação dos resultados dessas simulações com estudos divulgados nas referências bibliográficas, também é possível validar a otimização exercida pelo AG da ferramenta.

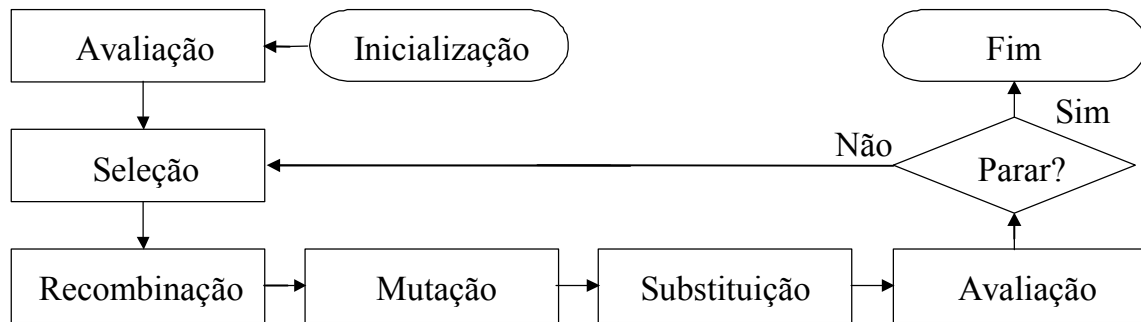
Destaca-se que essa é somente a primeira fase de desenvolvimento da ferramenta O3AG. Em seguida, vislumbra-se uma segunda fase, onde os blocos comuns das funções serão decompostos em módulos, isto é, os processos básicos do AG (inicialização, avaliação, seleção, recombinação, mutação e término) e outras tarefas da ferramenta serão executados por funções modulares, acionadas por uma função principal, tudo reunido num *toolbox* do Scilab. Por fim, propõe-se uma terceira fase, que consiste em criar um aplicativo, numa linguagem de programação adequada, agrupando todas as funções do *toolbox* da segunda fase num só programa executável.

### 5.3.2 - Estrutura do AG da Ferramenta O3AG

Os conceitos expostos em Capítulos e Seções anteriores serão empregados para perfazer a primeira etapa da fase inicial de construção da ferramenta de otimização O3AG, etapa essa considerada a mais importante, pois do seu sucesso depende a continuação das demais etapas e fases. Nesse propósito, para solucionar os problemas das aplicações propostas no Capítulo 4, foram criadas três funções em Scilab, que usam um AG para otimizar o controle da alimentação de arranjos lineares de qualquer tipo de antena. Tal AG possui uma formatação bem modular, visando torná-lo genérico e facilmente integrável às funções, exigindo somente alterar os parâmetros de entrada e a função objetivo.

De acordo com a Seção 3.5.1, a estrutura dos AG's tem grande versatilidade, mas costuma ter um fluxo de execução semelhante. Assim, a formatação modular do AG da ferramenta O3AG pode ser observada no fluxograma da Figura 5.1, que é bastante semelhante à Figura 3.2, com exceção da inclusão do bloco de "substituição", que, como já foi explicado na Seção 3.5.6.1, torna-se útil, pois, a depender das técnicas adotadas no AG (elitismo, por exemplo), os indivíduos a serem substituídos na população podem não ser aqueles selecionados para a recombinação e a mutação. Os blocos da Figura 5.1 constituem

os processos executados pelo algoritmo e, juntamente com as demais tarefas comuns em todas as funções Scilab da ferramenta, serão explicados nas Seções seguintes.



**Figura 5.1** – Fluxograma do AG usado na ferramenta O3AG, contendo o bloco de “substituição”.

### 5.3.3 - Codificação

Tal qual na Seção 3.5.2, a codificação não faz parte do fluxo de funcionamento do AG e, por isso, não está presente na Figura 5.1. Mesmo assim, a codificação é um processo essencial, pois torna o AG independente de parâmetros diretos e eventuais restrições do problema tratado e, se for inadequada, pode deixá-lo difícil ou até impossível de ser otimizado, de forma que variáveis contínuas por natureza têm melhor representação se usarem codificação real ou contínuas. Esse é o caso das aplicações a serem estudadas, pois, em todas elas, tem-se um arranjo linear com geometria fixa e deve-se otimizar a alimentação dos elementos do arranjo, a partir de valores reais de amplitudes e fases de excitação, com faixas e níveis de variação bem definidos (Seção 4.3).

Com isso, conforme sugerido em [14, 17] e ao contrário de [4, 12, 15-16], adotou-se a codificação real, que também mant m o caráter genérico do AG, uma vez que evita alterações de uma aplicação para outra, como ocorreria nas codificações binária e Gray, devido ao número de bits para representar a amplitude de alimentação ser diferente na terceira aplicação. Adicionalmente, dos conceitos da Seção 3.5.2, a codificação real é mais rápida, mais precisa, tem resultados mais consistentes ao longo de repetições da execução do algoritmo e pode impedir problemas comuns às aplicações em questão, como alta complexidade computacional, precisão dependente do número de bits e difícil hibridização.

Destarte, para facilitar a compreensão e simplificar o tratamento computacional, cada arranjo é um indivíduo, que tem um só cromossomo de tamanho fixo, cujos genes são as amplitudes,  $A_n$ , e a fase progressiva,  $\beta$ , de excitação de cada elemento do arranjo<sup>8</sup>. O alfabeto de valores (alelos) que os genes podem assumir é dado pelas faixas e níveis de variação da alimentação em cada aplicação (Seção 4.3), sendo o espaço de busca das variáveis uma combinação (permutação) dos valores disponíveis nessas faixas. A codificação real adotada para a primeira aplicação do AG de O3AG é mostrada na Figura 5.2, com o indivíduo de um cromossomo, cujos genes já estão dispostos ordenadamente.

$A_1$	$A_2$	$A_3$	...	$A_M$	$\beta$
7	7	5	...	0	35,2°

**Figura 5.2** – Indivíduo com codificação real para a primeira aplicação do AG de O3AG.

A maneira como a codificação real foi implantada, inspirada na estrutura física dos arranjos de antenas com cadeias de elementos, merece destaque, pois dá origem a um cromossomo com genes naturalmente ordenados em posições bastante adequadas para a aplicação dos operadores genéticos. Com essa formatação, a codificação real pode ser diretamente empregada, mesmo na sua forma discretizada (não-contínua), a qual é exigida pelas aplicações do Capítulo 4 (níveis limitados para a amplitude de excitação) e para diminuir o tempo de processamento (passos de 0,573° ou 0,0573° para incrementar a fase progressiva de excitação, como será descrito na Seção 5.3.4).

### 5.3.4 - Inicialização

A inicialização das funções desenvolvidas em Scilab é dividida em três partes. Primeiramente, há a chamada *inicialização do ambiente*, onde o tempo de execução da função começa a contar, as variáveis desprotegidas são apagadas do ambiente e a função

<sup>8</sup> Em [15], há uma modelagem semelhante, com a diferença que os indivíduos possuem vários cromossomos, pois os indivíduos são arranjos, mas cada elemento do arranjo é considerado um cromossomo e não um gene.

para criação de números aleatórios é “semeada”<sup>9</sup>. Em seguida, ocorre a *inicialização de variáveis*, onde são declaradas as variáveis que determinam o comportamento da aplicação (comuns ou específicas) e do AG, todas apresentadas na Tabela 5.1. As variáveis das aplicações são especificadas nas suas descrições (Seção 4.3), com exceção do ângulo de exploração do fator de arranjo,  $FA$ , que é igual ao ângulo de elevação,  $\theta$ , optando-se por deixá-lo com variação livre, isto é, de  $0^\circ$ ,  $\theta_{MIN}$ , a  $180^\circ$ ,  $\theta_{MAX}$ . Com base na Seção 3.5.3 e em [4, 12, 16], o tamanho da população é escolhido igual a 100 indivíduos, enquanto as demais variáveis do AG serão abordadas nas Seções seguintes.

<b>Variáveis Comuns</b>		Número de elementos dispostos no eixo Z: $M$ .
		Comprimento de onda <sup>10</sup> : $\lambda$ .
		Constante de propagação <sup>11</sup> : $k_d$ .
		Espaçamento entre os elementos do arranjo: $D$ ou $D_d$ .
		Valores dos níveis máx. e mín. da amp. de excit.: $A_{MAX}$ e $A_{MIN}$ .
		Valores máx. e mín da fase prog. de excit.: $\beta_{MAX}$ e $\beta_{MIN}$ .
		Ângulos máx. e mín para a exploração do $FA$ : $\theta_{MAX}$ e $\theta_{MIN}$ .
<b>Variáveis Específicas</b>	<b>Aplicação 1, 2 e 3</b>	Ângulo desejado para o lóbulo principal de radiação: $\theta_o$ .
	<b>Aplicação 2</b>	Ângulo de chegada do sinal interferente 1: $\theta_{i1}$ .
		Ângulo de chegada do sinal interferente 2: $\theta_{i2}$ .
	<b>Aplicação 3</b>	Relação entre os valores de amplitude do diagrama de radiação para os ângulos dos sinais desejado e interferente, em dB: $RMI$ .
		Ângulo máximo da região com sinal garantido: $\theta_{SINAL\_MAX}$ .
		Ângulo mínimo da região com sinal garantido: $\theta_{SINAL\_MIN}$ .
<b>Variáveis do AG</b>	Relação entre os valores máximo e mínimo da amplitude do diagrama de radiação na região com sinal garantido: $RMM$ .	
	Tamanho da população: $TAM\_POP$ .	
	Número máximo de gerações: $GER\_MAX$ .	
	Taxa de recombinação: $T_r$ .	
	Taxa de mutação: $T_m$ .	
	Fator de dilatação da função objetivo: $K_P$ .	

**Tabela 5.1** – Variáveis declaradas na Inicialização.

<sup>9</sup> Em Scilab, a função *rand()* possui uma seqüência pseudo-aleatória de valores que será usada em muitos processos do AG. Porém, esta função sempre inicia na mesma posição da seqüência, a menos de ser informada (“semeada”) uma posição inicial qualquer. Assim, cada vez que a função O3AG é executada, é feito o produto entre hora, minuto, segundo e milésimo de segundo, obtidos pela função *getdate()*, cujo resultado é usado como posição inicial da seqüência, tornando mínimas as chances de partir do mesmo ponto.

<sup>10</sup> O comprimento de onda pode ter seu valor dado diretamente (aplicações 1 e 2) ou calculado a partir da freqüência de operação (aplicação 3), caso esta variável também seja declarada.

<sup>11</sup> A constante de propagação pode não ser declarada como variável, caso já esteja incluída na formulação do *fator de arranjo* usada pela função objetivo do AG, como ocorre nas aplicações 1 e 2.

A última parte da Inicialização é a *inicialização da população* do AG, onde, para começar o processo de evolução, uma população inicial de possíveis soluções (ou indivíduos) é gerada de forma aleatória, a fim de aumentar a diversidade genética. Como foi escolhido previamente, a população terá tamanho constante e igual a 100, durante toda a execução do AG (Seções 3.5.2 e 3.5.3). Para gerar cada indivíduo, é usada uma distribuição uniforme de números no intervalo de 0 a 1, através da função *rand()* do Scilab. Informados na descrição das aplicações propostas e declarados nas variáveis comuns, os valores máximo e mínimo da amplitude e da fase progressiva de excitação determinam a faixa de variação dos valores das soluções.

Naturalmente, com as restrições práticas impostas às aplicações do Capítulo 4, os níveis existentes para as amplitudes de excitação deixam seu espaço de busca bastante reduzido. No entanto, o espaço de busca da fase progressiva de excitação é teoricamente infinito (contínuo), sendo limitado apenas pelo processo de Inicialização do AG, que, para diminuir o tempo de processamento, adota uma fase progressiva de excitação com passos de  $0,573^\circ$  ( $0,01$  rad), nas duas primeiras aplicações, e  $0,0573^\circ$  ( $0,001$  rad), na terceira. Com isso e considerando uma fase progressiva variando de  $-180^\circ$  a  $180^\circ$ , tem-se, para as duas primeiras aplicações, 629 ângulos possíveis, gerando um espaço de busca com  $7,252 \times 10^{20}$  possibilidades (8 níveis de  $A_n$ , de 0 a 7), enquanto que, para a terceira aplicação, há 6283 ângulos, resultando em  $9,936 \times 10^{19}$  possibilidades (501 níveis de  $A_n$ , de 0 a 0,5). Esses vastos espaços de busca ratificam a escolha do AG para otimizar os problemas.

### 5.3.5 - Avaliação

#### 5.3.5.1 - Considerações Gerais

Da Seção 3.5.4, a aptidão de cada indivíduo da população,  $a_i$ , pode ser extraída diretamente da função objetivo e ela dependerá do problema a ser analisado. A aptidão das aplicações propostas será tratada nas Seções 5.3.5.2, 5.3.5.3 e 5.3.5.4, empregando uma ponderação das funções de todos os objetivos de otimização (Seção 3.2). Antes disso, é importante frisar que a função O3AG analisa o diagrama de radiação dos arranjos de antenas, traçado a partir das expressões (4.2), para antenas isotrópicas (Versões 1.0, 1.1, 2.0, 2.1 e 3.0 de O3AG), e (4.13), para antenas dipolo (Versão 3.1).

Destaca-se que valores em dB são empregados apenas para plotar diagramas, enquanto os cálculos da aptidão, através da função objetivo, empregam os valores antes da conversão para dB, isto é, sem aplicar o termo  $20\log_{10}$ . Desse modo, as Versões para antenas isotrópicas calculam a aptidão apenas pelo *fator de arranjo*,  $FA$ , dado em (4.1), ao passo que a Versão 3.1, para dipolos, usa a raiz quadrada do *ganho diretivo normalizado do arranjo*,  $D_{A, Norm}$ , dado por (4.12). Esse procedimento procura deixar a aptidão mais sensível a variações nos valores do diagrama, que seriam amenizadas pelo uso de dB.

### 5.3.5.2 - Posicionamento do Feixe e Redução de Radiações Indesejáveis

Os objetivos da primeira aplicação do Capítulo 4 são comuns às demais, ou seja, todas devem determinar a direção do lóbulo principal e maximizar a relação entre as amplitudes dos lóbulos principal e maior secundário, o RSSL, conforme (4.3). Nesse sentido, a tarefa inicial é determinar os ângulos para a exploração espacial do fator de arranjo, de modo que é criado um conjunto de 315 ângulos,  $C_\theta$ , calculado em (5.1), a partir dos valores máximo e mínimo dados pela Seção 5.3.4,  $\theta_{MAX} = 180^\circ$  (3,14 rad) e  $\theta_{MIN} = 0^\circ$  (0 rad), com resolução,  $\Delta\theta$ , de  $0,573^\circ$  (0,01 rad). Depois, é criado um conjunto contendo os *módulos* dos valores calculados para o fator de arranjo,  $FA$ , dado pela expressão (4.1), em cada um desses 315 ângulos. O valor máximo desse conjunto de módulos é igual à amplitude do lóbulo principal,  $A_p$ , e indica a direção de máxima radiação calculada,  $\theta_r$ , tal qual indicado por (5.2) e (5.3), respectivamente.

$$C_\theta = \{\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_{315}\}_{\theta_{j+i} = \theta_j + \Delta\theta} \quad \forall \theta \in [0^\circ, 180^\circ] \text{ e } \Delta\theta = 0,573^\circ \quad (5.1)$$

$$A_p = \max(|FA(\theta)|) \quad \forall \theta \in C_\theta \quad (5.2)$$

$$\theta_r = \theta \Big|_{\max(|FA(\theta)|)} \quad \forall \theta \in C_\theta \quad (5.3)$$

Aqui, para calcular o RSSL, falta a amplitude do maior lóbulo secundário,  $A_s$ , o que exige conhecer as posições limites do lóbulo principal. Neste trabalho, a forma de obter essas posições difere daquela de [4], de modo que o AG faz simples comparações entre valores do fator de arranjo de posições consecutivas, não utilizando diferenciação



numérica, já que um dos propósitos do AG é não calcular derivadas. Assim, começando pela posição de máxima radiação,  $\theta_r$ , a posição do final do lóbulo principal,  $\theta_{Ap\_Fin}$ , dada por (5.4), é a primeira em que o valor do fator de arranjo é menor que na posição *posterior*. Enquanto isso, também começando por  $\theta_r$ , a posição do início do lóbulo principal,  $\theta_{Ap\_Ini}$ , como mostra (5.5), é a primeira em que o valor do fator de arranjo é menor que na posição *anterior*. O valor máximo do conjunto de módulos do fator de arranjo, excluindo o lóbulo principal,  $\theta_{Ap\_Ini}$  a  $\theta_{Ap\_Fin}$ , é igual a  $A_S$ , conforme (5.6).

$$\theta_{Ap\_Fin} = \theta_{\min(j)} \Big|_{|FA(\theta_j)| < |FA(\theta_{j+1})|}, \{ \theta \in C_\theta \mid \theta \geq \theta_r \} \quad (5.4)$$

$$\theta_{Ap\_Ini} = \theta_{\max(j)} \Big|_{|FA(\theta_j)| < |FA(\theta_{j-1})|}, \{ \theta \in C_\theta \mid \theta \leq \theta_r \} \quad (5.5)$$

$$A_S = \max(|FA(\theta)|) \quad \forall \theta \notin [ \theta_{Ap\_Ini}, \theta_{Ap\_Fin} ] \quad (5.6)$$

De posse dos valores de  $\theta_r$ ,  $A_p$  e  $A_S$  e com base em [4], é formulada em (5.7) a função objetivo das Versões 1.0 e 1.1 da função O3AG. Deve-se considerar que, por se tratar de um diagrama altamente diretivo, qualquer pequeno desvio angular pode comprometer o sistema de comunicação, de maneira que é essencial posicionar o feixe no ângulo de radiação desejado,  $\theta_o$ . Por isso, o ângulo calculado pelo AG,  $\theta_r$ , é representado por um termo não-linear na função objetivo, fazendo qualquer variação, em relação ao valor desejado, resultar em grandes reduções na aptidão, dando maior seletividade. Isso tende a priorizar o posicionamento adequado do feixe em detrimento do RSLL, pois esse é aplicado na forma adimensional (não em dB) e sem qualquer restrição à função objetivo.

$$a_i = \frac{A_p}{A_S} \cdot \frac{1}{1 + K_p \cdot (\theta_r - \theta_o)^2} \quad (5.7)$$

A multiplicação entre os termos do RSLL e do ângulo de radiação é apropriada, pois usa a divisão entre as amplitudes dos lóbulos (um valor adimensional) para ponderar o desvio do ângulo de radiação,  $\theta_r - \theta_o$ . Caso fosse aplicada uma adição, por exemplo, e um dos termos tivesse um valor elevado, esse poderia “dominar” o valor da aptidão. Outro ponto observado em (5.7) é o comportamento do termo não-linear, que tem um pico de

valor unitário para o ângulo desejado,  $\theta_r = \theta_o$ , caindo rapidamente, até se tornar uma assíntota ao valor nulo, para qualquer aumento ou diminuição do ângulo de radiação.

Tal comportamento é regido pelo valor do *fator de dilatação*,  $K_P$ , e pela potência ao quadrado de  $\theta_r - \theta_o$ , pois um  $K_P$  maior deixa a aptidão mais seletiva quanto ao  $\theta_r$  e o expoente igual a 2 da potência torna o valor da aptidão sempre positivo. Ademais, de acordo com [4], o expoente igual a 2 e o  $K_P$  próximo a 0,04 são apropriados para o problema, adotando-se  $K_P$  igual a 0,05 nas primeiras simulações (Versão 1.0). Contudo, posteriormente, adotou-se uma forma mais adequada de *recombinação* (explicada na Seção 5.3.7), o que gerou a Versão 1.1 da função, onde testes com diferentes valores de  $\theta_o$  e  $K_P$  (mostrados nos Apêndices II e III, com os resultados da função O3AG nas Versões 1.0 e 1.1, respectivamente) indicaram que o melhor valor de  $K_P$  é igual a 1.

Essa formulação para a função objetivo foi adotada por ser simples, direta e com eficiência comprovada nas referências bibliográficas, conforme [4, 16]. No entanto, o cálculo do máximo lóbulo lateral é difícil de implementar, fato confirmado por [9], o qual ainda acrescenta que a formulação permite soluções indesejáveis, como “ombros” no lóbulo principal, dificultando a busca do AG. Sendo assim, [9, 16-17] mostram uma alternativa para a função objetivo, baseada na transformação do fator de arranjo da forma exponencial para um produtório, ou produto de raízes de um polinômio. Isso, segundo [17], torna o AG mais rápido, já que envolve multiplicações em lugar de potenciação.

### 5.3.5.3 - Rejeição de Interferências com Direções de Chegada Conhecidas

Os valores de  $\theta_r$ ,  $A_P$  e  $A_S$ , obtidos conforme a Seção 5.3.5.2, devem ser associados aos módulos do fator de arranjo nas direções de chegada dos dois sinais interferentes,  $A_{i1}$  e  $A_{i2}$ , a fim de calcular a aptidão dos indivíduos,  $a_i$ , da segunda aplicação, que, além de determinar a direção do lóbulo principal e maximizar o valor do RSSL, visa direcionar “nulos” do diagrama de radiação para rejeitar essas interferências. Nesse intuito, para facilitar os testes, a tarefa foi dividida em duas partes, considerando um e dois sinais interferentes, para produzir as Versões 2.0 e 2.1 da função O3AG, respectivamente, cada uma com sua função objetivo, onde, como os objetivos da primeira aplicação permanecem, (5.7) é mantida e são acrescentadas as condições da segunda aplicação.

A primeira dessas condições é transformar a relação declarada entre os valores de amplitude do diagrama de radiação nos ângulos dos sinais desejado e interferentes,  $RMI$ , de dB para uma grandeza adimensional, pois, assim, será usada na função objetivo. Em seguida, deve-se observar que  $C_\theta$ , criado na Seção 5.3.5.2, pode não conter os valores exatos dos ângulos de chegada dos sinais interferentes,  $\theta_{i1}$  e  $\theta_{i2}$ , que foram declarados na *inicialização de variáveis* (Seção 5.3.4). Por isso, é preciso achar as posições aproximadas desses ângulos em  $C_\theta$ ,  $\theta'_{i1}$  e  $\theta'_{i2}$ , através da busca de um ângulo que seja menor ou igual ao ângulo de chegada declarado ( $\theta_{i1}$  ou  $\theta_{i2}$ ) e maior que a diferença entre este e a resolução do conjunto ( $\Delta\theta = 0,573^\circ$ ), como é apresentado em (5.8) e (5.9). Daí, (5.10) e (5.11) mostram  $A_{i1}$  e  $A_{i2}$ , que são os valores do módulo do fator de arranjo,  $FA$ , dado por (4.1), em  $\theta'_{i1}$  e  $\theta'_{i2}$ , respectivamente.

$$\theta'_{i1} = \theta \Big|_{(\theta_{i1} - \Delta\theta) < \theta \leq \theta_{i1}} \quad \forall \theta \in C_\theta \quad (5.8)$$

$$\theta'_{i2} = \theta \Big|_{(\theta_{i2} - \Delta\theta) < \theta \leq \theta_{i2}} \quad \forall \theta \in C_\theta \quad (5.9)$$

$$A_{i1} = |FA(\theta'_{i1})| \quad (5.10)$$

$$A_{i2} = |FA(\theta'_{i2})| \quad (5.11)$$

Lembra-se que a Versão 2.0 tem apenas um sinal interferente e, portanto, só há uma posição,  $\theta'_{i1}$ , e um módulo,  $A_{i1}$ , para determinar. Além disso, posicionar “nulos” do diagrama nas direções de interferências é primordial para a aplicação, que deve ter um RMI, no mínimo, igual ao valor desejado. Por isso, (5.12) e (5.13) apresentam as funções objetivo das Versões 2.0 e 2.1, respectivamente, empregando um termo não-linear, que não altera o valor da aptidão, se o RMI obtido for maior ou igual ao desejado, ou reduz em 75% a aptidão, se for menor. Dessa forma, o posicionamento adequado do feixe ainda tem prioridade, pois deve ser exatamente igual ao desejado para não reduzir a aptidão, enquanto um RMI maior que o desejado não altera os resultados, traduzindo o senso prático de que não adianta posicionar os “nulos” nas direções das interferências, se o feixe for apontado na direção errada.

$$a_i = \frac{A_P}{A_S} \cdot \frac{I}{I + K_p \cdot (\theta_r - \theta_o)^2} \cdot 2^{\left( \frac{\left( \frac{A_P - RMI}{A_{i1}} \right) - I}{\text{abs}\left( \frac{A_P - RMI}{A_{i1}} \right)} \right)} \quad (5.12)$$

$$a_i = \frac{A_P}{A_S} \cdot \frac{I}{I + K_p \cdot (\theta_r - \theta_o)^2} \cdot 2^{\left( \frac{\left( \frac{A_P - RMI}{A_{i1}} \right) - I}{\text{abs}\left( \frac{A_P - RMI}{A_{i1}} \right)} \right)} \cdot 2^{\left( \frac{\left( \frac{A_P - RMI}{A_{i2}} \right) - I}{\text{abs}\left( \frac{A_P - RMI}{A_{i2}} \right)} \right)} \quad (5.13)$$

Os dois primeiros termos das funções objetivo e o uso de multiplicação entre os termos foram explicados na Seção 5.3.5.2. Os termos contendo RMI têm comportamento não-linear, aproveitando a característica da potenciação, sendo escolhida a base 2 por reduzir em 75% a aptidão, para erros no RMI obtido,  $A_P/A_{i1}$  ou  $A_P/A_{i2}$ . Em suma, se o RMI obtido for maior ou igual ao desejado, a diferença entre esses valores é positiva e a divisão pelo seu módulo é igual a 1, fazendo o expoente do termo ficar igual a 0 e, assim, a potenciação resulta em 1, não alterando o valor da aptidão. Contudo, caso RMI obtido seja menor que o desejado, a diferença é negativa e a divisão pelo seu módulo é igual a  $-1$ , fazendo o expoente do termo igual a  $-2$  e, conseqüentemente, a potenciação resulta em 0,25, reduzindo a  $\frac{1}{4}$  o valor da aptidão (redução de 75%). Na Versão 2.1, erros no RMI das duas interferências reduzem a aptidão à somente 6,25% de seu valor original.

#### 5.3.5.4 - Supressão de Regiões Sem Cobertura

Além dos valores oriundos da Seção 5.3.5.1,  $\theta_r$ ,  $A_P$  e  $A_S$ , é necessário conhecer o valor mínimo do diagrama de radiação,  $A_{min}$ , na região em que a cobertura deve ser garantida, para que se possa calcular a aptidão dos indivíduos,  $a_i$ , da terceira aplicação, que também deve determinar a direção do lóbulo principal e maximizar o valor do RSL, com o objetivo adicional de suprimir uma região sem cobertura, evitando a ausência de sinal pelo preenchimento dos “nulos” do diagrama de radiação. A eficácia da aplicação é avaliada pela Relação entre os valores Máximo e Mínimo da amplitude do diagrama na região com sinal garantido,  $RMM$ , cujo valor desejado é declarado na *inicialização de variáveis* (Seção 5.3.4). Destaca-se que, novamente, visando facilitar os testes, a tarefa foi dividida em duas partes, produzindo as funções O3AG Versão 3.0, contendo elementos isotrópicos, e Versão 3.1, composta por dipolos.

Mais uma vez, os objetivos da primeira aplicação permanecem, entretanto, (5.7) é modificada para depois ser acrescida da condição da terceira aplicação, dando origem à nova função objetivo, que atende às duas Versões, 3.0 e 3.1. A modificação de (5.7) consta em fazer o logaritmo de base 10 para a relação de amplitudes do RSSL, visando diminuir o peso de grandes valores de RSSL na aptidão, fato que dificulta a otimização dos outros termos, nesse caso. Isso é possível porque o logaritmo ameniza grandes valores, saturando a curva. Em seguida,  $C_\theta$  pode não conter os valores exatos dos ângulos máximo e mínimo desejados para a região com sinal garantido,  $\theta_{SINAL\_MAX}$  e  $\theta_{SINAL\_MIN}$ , que foram declarados na *inicialização de variáveis* (Seção 5.3.4).

Então, semelhantemente à Seção 5.3.5.3, as posições aproximadas desses ângulos em  $C_\theta$ ,  $\theta'_{SINAL\_MAX}$  e  $\theta'_{SINAL\_MIN}$ , devem ser achadas, realizando duas buscas. Inicialmente, como mostra (5.14), deve-se obter um ângulo,  $\theta'_{SINAL\_MAX}$ , que seja menor ou igual ao ângulo máximo desejado,  $\theta_{SINAL\_MAX}$ , e maior que a diferença entre este e a resolução de  $C_\theta$  ( $\Delta\theta = 0,573^\circ$ ). Depois, em (5.15), busca-se um ângulo,  $\theta'_{SINAL\_MIN}$ , que seja maior ou igual ao ângulo mínimo desejado,  $\theta_{SINAL\_MIN}$ , e menor que a soma entre esse e  $\Delta\theta$ . Isso feito, tem-se a região onde deve haver cobertura garantida e o valor mínimo do diagrama de radiação nessa região é igual a  $A_{min}$ . Da Seção 5.3.5.1, o cálculo de  $A_{min}$  usa o *fator de arranjo*,  $FA$ , de (4.1), na Versão 3.0, e a raiz quadrada do *ganho diretivo normalizado do arranjo*,  $D_{A, Norm}$ , de (4.12), na Versão 3.1, conforme (5.16) e (5.17), respectivamente.

$$\theta'_{SINAL\_MAX} = \theta \Big|_{(\theta_{SINAL\_MAX} - \Delta\theta) < \theta \leq \theta_{SINAL\_MAX}} \quad \forall \theta \in C_\theta \quad (5.14)$$

$$\theta'_{SINAL\_MIN} = \theta \Big|_{\theta_{SINAL\_MIN} \leq \theta < (\theta_{SINAL\_MIN} + \Delta\theta)} \quad \forall \theta \in C_\theta \quad (5.15)$$

$$A_{min} = \min(FA(\theta)) \quad \forall \theta \notin [\theta'_{SINAL\_MIN}, \theta'_{SINAL\_MAX}] \quad (5.16)$$

$$A_{min} = \min(\sqrt{D_{A, Norm}(\theta)}) \quad \forall \theta \notin [\theta'_{SINAL\_MIN}, \theta'_{SINAL\_MAX}] \quad (5.17)$$

Ademais, suprimir uma região sem cobertura é fundamental para a aplicação, de modo que o RMM deve ser o mais próximo possível do valor desejado, resultando numa tolerância adotada de apenas  $\pm 5\%$ . Partindo disso, a função objetivo usa um termo não-

linear, bem semelhante àquele do ângulo calculado,  $\theta_r$ , resultando em grandes reduções na aptidão para qualquer variação, com respeito ao valor desejado de RMM. Porém, o posicionamento adequado do feixe ainda tem prioridade na aplicação, pois não adiantaria suprimir uma região sem cobertura e ter um lóbulo principal apontado incorretamente. Essa prioridade é mensurada em *cem vezes*, o que é representado na função objetivo pela multiplicação do  $K_p$  por 0,01, no termo referente ao RMM.

$$a_i = \log_{10} \left( \frac{A_p}{A_s} \right) \cdot \frac{1}{1 + K_p \cdot (\theta_r - \theta_o)^2} \cdot \frac{1}{1 + 0,01 \cdot K_p \cdot \left( RMM - \frac{A_p}{A_{MIN}} \right)^2} \quad (5.18)$$

O segundo termo de (5.18) e o motivo de empregar multiplicação entre os termos foram explicados na Seção 5.3.5.2. A utilização do logaritmo de base 10 também foi já foi tratada e visa amenizar a influência de grandes valores de RSSL no valor da aptidão, o que dificulta a otimização dos outros termos. Quanto ao último termo, ele tem comportamento já conhecido, isto é, um pico de valor unitário para o RMM desejado ( $A_p/A_{min} = RMM$ ), caindo rapidamente, até se tornar uma assíntota ao valor nulo, para qualquer aumento ou diminuição de RMM, o qual tem de ter um valor calculado bem próximo ao desejado para não reduzir drasticamente a aptidão. Reforçando que o posicionamento do lóbulo ainda é a prioridade, por ter um pico de valor unitário 100 vezes mais estreito que o termo do RMM.

### 5.3.6 - Seleção

Para aplicar os operadores genéticos, o AG deve fazer uma seleção de indivíduos na população, privilegiando os mais aptos, a fim de gerar descendentes mais qualificados, mas impedindo que somente a melhor solução seja selecionada, para não haver convergência prematura num ótimo local. Essa seleção pode ser executada por técnicas probabilísticas ou determinísticas, mas sempre é baseada no valor da aptidão (Seção 3.5.5). Este trabalho adota a técnica do torneio estocástico, por ter implementação simples e complexidade computacional baixa,  $O(n)$ , que depende do tamanho do conjunto extraído,  $n$ , e não do tamanho da população,  $N$ , como ocorre na técnica da roleta, com  $O(N^2)$ . Além disso, segundo [11-12], comparando as duas técnicas, o torneio trabalha mais rápido e evita dificuldades de convergência (Seção 3.5.5.3).

Extrair conjuntos com três ou mais indivíduos da população aumentam as chances de um deles (de maior ou menor aptidão, dependendo do caso) dominar o processo de seleção, causando convergência prematura. Por isso, é empregado o caso mais comum de torneio estocástico, fazendo a seleção probabilística de um conjunto com apenas um par de indivíduos da população,  $n = 2$ , o que também reduz a complexidade computacional. No modo tradicional do torneio, só o indivíduo de maior aptidão desse par é utilizado para o processo de reprodução. Todavia, no AG desenvolvido, foram feitas alterações no processo, visando dar maior diversidade genética à população. Na recombinação, a seleção do primeiro indivíduo usa o modelo tradicional, enquanto que, no segundo indivíduo, é escolhida a menor aptidão do par, dando origem à chamada *recombinação máximo-mínimo* (Seção 5.3.7). Na mutação, seleciona-se um indivíduo da população de forma aleatória, sem qualquer referência à aptidão, permitindo diversidade genética total.

Quanto à implementação do AG das funções O3AG, os indivíduos são obtidos com auxílio da função *rand()* do Scilab, que, através de distribuição uniforme de números no intervalo de 0 a 1, obtém, aleatoriamente, conjuntos de 2 ou somente 1, entre os 100 indivíduos da população, para serem usados nos processos de recombinação e mutação, respectivamente. Destaca-se que, um mesmo indivíduo pode ser selecionado em dois pares diferentes, sendo a maior aptidão do primeiro par e a menor do segundo, o que fará dele o único indivíduo usado na recombinação. Para evitar isso, a *menor* posição (de 1 a 100) da população que tenha o valor da *maior* aptidão do primeiro par selecionado origina o *primeiro* indivíduo para a recombinação, ao passo que a *maior* posição que tenha o valor da *menor* aptidão do segundo par origina o segundo indivíduo. Se existe só um indivíduo com aquele valor de aptidão na população, sendo a sua posição selecionada nas duas vezes, a seleção do segundo indivíduo será repetida até conseguir dois diferentes.

Todo esse procedimento também permite aumentar a diversidade genética após várias gerações do AG, quando grande parte da população deverá ter a mesma aptidão. Isso é possível porque a mesma aptidão pode ser originada por indivíduos com diferentes amplitudes e fase progressiva de excitação, de maneira que ainda há diversidade genética na população, apesar de pouca variação da aptidão. Outrossim, os indivíduos selecionados sempre são recolocados na população, permitindo selecioná-los novamente, e o processo é repetido até atingir o número de indivíduos requerido para a reprodução.

### 5.3.7 - Recombinação

Dos vários tipos de operadores genéticos conhecidos, o AG das funções O3AG usa a recombinação e a mutação, por serem mais comuns e genéricos. A recombinação atua na busca local, tomando partes dos cromossomos de dois indivíduos (pais) e combinando para formar descendentes (filhos). Nos casos estudados, os espaços de busca são vastos (Seção 5.3.4), de modo que o emparelhamento de indivíduos mais aptos, apesar de acelerar a convergência, exige altas taxas de mutação para dar maior diversidade genética e evitar a convergência prematura (Seção 3.6.1.4). Assim sendo, para melhorar a busca global, adotou-se um critério menos comum, o emparelhamento entre indivíduos mais aptos e menos aptos, onde cada par é obtido pelo processo de seleção da Seção 5.3.6.

Neste trabalho, tal critério é denominado de *recombinação máximo-mínimo* e deu origem a Versão 1.1 do O3AG, sendo usado daí em diante, por permitir uma melhoria média (sobre 10 simulações [18]) de 1,5 dB no RSSL e 18,9% na aptidão, sendo mantido o número de erros,  $NE_{\theta}$ , de 20% nos testes de apontamento, se comparado com a Versão 1.0, que ainda usa a combinação convencional<sup>12</sup>. Tudo isso permite dizer que a recombinação máximo-mínimo executa uma melhor varredura do espaço de busca, evitando a convergência prematura e reduzindo a necessidade de altas taxas de mutação. Contudo, como o AG demora mais a convergir, há a necessidade de aumentar o número máximo de gerações, no caso, de 200 para 300, o que gerou resultados ainda melhores (1,6 dB no RSSL e 20,9% na aptidão, com o mesmo número de erros de apontamento,  $NE_{\theta} = 20\%$ <sup>13</sup>).

Além disso, o vasto espaço de busca e a complexidade computacional da função objetivo (cálculo de  $A_S$ ) exigem maior controle sobre a atuação do AG, tendo em vista a quantidade de parâmetros com caráter aleatório utilizados, que, na possibilidade de não acontecerem, ocasionariam convergência prematura e exigiriam mais gerações. Por isso, optou-se por uma atuação determinística da recombinação e da mutação. Exemplificando para a população de 100 indivíduos, se a taxa de probabilidade de recombinação,  $t_r$ , é 70%

---

<sup>12</sup> Valores obtidos dos resultados dos testes N da Versão 1.0 (Apêndice I) e A da Versão 1.1 (Apêndice II). Também se destaca o excelente resultado obtido na segunda simulação do teste A da Versão 1.1, com uma aptidão maior que 75 e um RSSL superior a 37 dB.

<sup>13</sup> Valores obtidos dos resultados dos testes N da Versão 1.0 (Apêndice I) e B da Versão 1.1 (Apêndice II).



e a de mutação,  $t_m$ , é 1%, obrigatoriamente, 70 indivíduos sofrerão recombinação e 1 sofrerá mutação. Isso torna o tempo de processamento diretamente dependente dessas taxas e, como o número de gerações foi aumentado, esse tempo passa a ter valores razoáveis (conforme Apêndices II a VII), porém, dentro dos limites aceitáveis para esta primeira etapa da ferramenta O3AG. Os valores das taxas foram exaustivamente testados até obter os mais adequados para o AG.

Para a Versão 1.0, os testes iniciaram com os valores típicos das referências bibliográficas [11-12] e seguiram diminuindo e/ou aumentando  $t_r$  e  $t_m$ , com o intuito de reduzir a convergência prematura, chegando a  $t_r = 30\%$  e  $t_m = 25\%$ , como mostram os resultados na Tabela 5.2. Para a Versão 1.1, os testes iniciaram com os melhores valores da Versão 1.0 e conduziram a  $t_r = 35\%$  e  $t_m = 10\%$ , conforme a Tabela 5.3. Nas Tabelas, o número de erros de apontamento,  $NE_\theta$ , e de RSLI,  $NE_{RSLI}$ , são dados em percentual porque os testes iniciais têm cinco simulações, enquanto os testes para os melhores valores das taxas e seus valores imediatamente acima e abaixo têm dez simulações, a fim de verificar a capacidade do AG de reproduzir o resultado. A aptidão média,  $Apt_{med}$ , e o número médio de gerações para a convergência,  $Ger_{med}$ , são calculados considerando apenas os resultados das simulações que não apresentaram erros de apontamento ou RSLI.

		$T_m$		$T_r$			
		1%	15%	30%	35%	25%	20%
70%	$NE_\theta$ (%)	40	60	20	-	-	-
	$NE_{RSLI}$ (%)	60	40	60	-	-	-
	$Apt_{med}$	39,3	36,9	35,8	-	-	-
	$Ger_{med}$	136	182	164	-	-	-
35%	$NE_\theta$ (%)	60	40	40	-	-	-
	$NE_{RSLI}$ (%)	60	60	0	-	-	-
	$Apt_{med}$	38,0	53,5	42,9	-	-	-
	$Ger_{med}$	103	106	145	-	-	-
25%	$NE_\theta$ (%)	60	40	40	-	-	-
	$NE_{RSLI}$ (%)	80	40	20	-	-	-
	$Apt_{med}$	-	40,3	48,4	-	-	-
	$Ger_{med}$	-	134	140	-	-	-
30%	$NE_\theta$ (%)	20	20	30	40	20	20
	$NE_{RSLI}$ (%)	80	20	0	0	0	10
	$Apt_{med}$	39,0	40,5	41,2	48,2	44,4	50,4
	$Ger_{med}$	164	150	154	112	108	144

Tabela 5.2 – Resumo dos testes das taxas de recombinação e mutação para a Versão 1.0.

$T_r \backslash T_m$		25% <sup>14</sup>	25%	15%	1%	10%	5%
		30%	NE $_{\theta}$ (%)	20	20	40	0
NE $_{RSLL}$ (%)	10		0	0	20	-	-
Apt. <sub>med</sub>	52,8		53,7	41,2	45,7	-	-
Ger. <sub>med</sub>	153		263	253	264	-	-
20%	NE $_{\theta}$ (%)	-	40	20	0	-	-
	NE $_{RSLL}$ (%)	-	0	0	40	-	-
	Apt. <sub>med</sub>	-	51,8	53,9	38,1	-	-
	Ger. <sub>med</sub>	-	251	259	280	-	-
40%	NE $_{\theta}$ (%)	-	0	20	0	-	-
	NE $_{RSLL}$ (%)	-	20	0	20	-	-
	Apt. <sub>med</sub>	-	49,7	52,0	46,0	-	-
	Ger. <sub>med</sub>	-	250	265	290	-	-
35%	NE $_{\theta}$ (%)	-	20	10	0	0	10
	NE $_{RSLL}$ (%)	-	0	0	60	0	20
	Apt. <sub>med</sub>	-	50,4	51,6	45,3	52,5	48,0
	Ger. <sub>med</sub>	-	288	248	224	227	258

Tabela 5.3 – Resumo dos testes das taxas de recombinação e mutação para a Versão 1.1.

Os critérios adotados nos testes para qualificar um resultado como acerto ou erro foram  $\pm 0,5^\circ$  para apontamento, devido à resolução disponível ( $\Delta\theta = 0,573^\circ$ ), e RSLL maior ou igual a 30 dB, já que é a primeira aplicação com  $\theta_0 = 90^\circ$  (Seção 4.3.2). Uma análise de cada teste é dada no campo de *Comentários* das planilhas de resultados dos testes (Apêndices II e III). Deve-se registrar que as Tabelas 5.2 e 5.3 se referem à função objetivo dada por (5.7) com  $K_p = 0,05$  e, somente após a Versão 1.1 ser estabelecida, novos testes com diferentes valores de  $\theta_0$  e  $K_p$  indicaram que a melhor alternativa é  $K_p = 1$ .

De acordo com a Seção 3.5.5, o modelo de codificação real empregado é inspirado na estrutura física dos arranjos de antenas e origina um cromossomo com genes naturalmente ordenados em posições bastante adequadas para os operadores genéticos. Assim, é possível usar a forma mais simples de recombinação real, dada por (3.4), onde, no caso das amplitudes de excitação, o fator de ponderação,  $k$ , será 0 ou 1, ou seja, cada gene do descendente será exatamente igual ao gene da mesma posição em um dos ascendentes.

<sup>14</sup> Teste A da Versão 1.1 do O3AG, que foi executado com 200 gerações como critério de término do AG. Os demais testes adotam 300 gerações.

Isso reduz a tendência em torno do ponto médio do intervalo permitido para o valor dos genes dos descendentes, que tornaria esses valores homogêneos rapidamente, resultando numa convergência prematura. Outrossim, evita a necessidade de arredondar os resultados de (3.4), para compatibilizar com os níveis permitidos para as amplitudes de excitação.

Com isso, parte da implementação da recombinação do AG desenvolvido é uma analogia à recombinação binária uniforme (Seção 3.5.6.2), ou seja, para gerar as amplitudes de excitação do indivíduo descendente, é criado um vetor binário de vinte elementos, onde dez posições aleatórias<sup>15</sup> indicam pontos de troca (“1” indica que deve haver troca dos genes correspondentes e “0” indica que não). Em seguida, um valor aleatório<sup>15</sup> é gerado para ocupar o valor de  $k$  em (3.4), para obter a fase progressiva de excitação do indivíduo descendente a partir das fases dos indivíduos ascendentes.

### 5.3.8 - Mutação

A mutação realiza uma busca global do espaço de soluções, atuando num indivíduo pré-selecionado, onde escolhe posições de genes no cromossomo e altera o valor para outro alelo possível, tudo de forma aleatória. Como descrito na Seção 5.3.7, o AG das funções O3AG usa uma forma determinística para os operadores recombinação e mutação, cujos valores das taxas foram exaustivamente testados. Com a recombinação máximo-mínimo, a partir da Versão 1.1, há uma melhor varredura do espaço de busca, reduzindo a taxa de mutação,  $t_m$ . Assim, os testes indicaram  $t_m = 25\%$ , para a Versão 1.0 (Tabela 5.2<sup>16</sup>), e  $t_m = 10\%$ , para a Versão 1.1 em diante (Tabela 5.3<sup>16</sup>). Esses valores são altos, confirmando que AG's de codificação real requisitam taxas de mutação elevadas (Seção 3.5.6.3).

Mais uma vez, a codificação real adotada facilita o processo, pois o cromossomo tem genes em posições que facilitam aplicar os operadores genéticos, de maneira que a mutação é realizada de forma semelhante à recombinação, isto é, usando (3.4) com fator de ponderação,  $k$ , igual a 0 ou 1, para obter as amplitudes, e igual a um valor aleatório, para

<sup>15</sup> Para determinar valores aleatórios é empregada a função *rand()* do Scilab, com distribuição uniforme de números no intervalo de 0 a 1.

<sup>16</sup> As Tabelas 5.2 e 5.3 são explicadas em detalhes na Seção 5.3.7.

obter a fase progressiva de excitação. No caso das amplitudes de excitação do indivíduo descendente, os valores de  $k$  também advêm de um vetor binário de vinte elementos, com dez posições aleatórias<sup>15</sup> indicando pontos de troca (“1” para trocar os genes correspondentes e “0” para não trocar).

Como (3.4) é empregada, são necessários dois indivíduos, sendo um obtido da população pelo processo de seleção da Seção 5.3.6 e o outro gerado igualmente ao processo de inicialização da população da Seção 5.3.4, através das faixas de variação da amplitude e da fase progressiva de excitação (informados na descrição das aplicações propostas) e da função *rand()* do Scilab. O segundo indivíduo é obtido de forma livre, permitindo a varredura total do espaço de busca, como exige o processo de mutação. Além disso, adotar um procedimento análogo à recombinação facilita a implementação computacional e aproveita as vantagens já conseguidas no processo anterior, como reduzir a tendência em torno do ponto médio do intervalo permitido para o valor dos genes e não haver necessidade de arredondar resultados para compatibilizar com os níveis permitidos.

### 5.3.9 - Substituição

De acordo com a Seção 3.5.6.1, após os operadores genéticos proporcionarem a reprodução, os novos indivíduos devem ser introduzidos na população, o que é representado neste trabalho pelo processo de *substituição*, já que no AG da função O3AG os indivíduos substituídos na população são diferentes daqueles selecionados para a recombinação e a mutação. Na introdução dos indivíduos, é usado o modelo de Algoritmo Genético de Estado Estável (SSGA – *Steady State Genetic Algorithm*), com um percentual entre o mínimo e o máximo de indivíduos, sendo um caso intermediário entre o Algoritmo Genético Simples (SGA – *Simple Genetic Algorithm*) e o Algoritmo Genético de Reposição (RGA – *Replacement Genetic Algorithm*).

A escolha pelo SSGA se deve a ter uma convergência mais rápida que o RGA, que substitui apenas 1 ou 2 indivíduos por geração ou ciclo, e que o SGA, que faz uma mudança total da população e pode trocar um grande número de indivíduos de alta aptidão por outros menos aptos. Ademais, o custo computacional de selecionar os indivíduos a serem substituídos, tarefa inexistente no SGA, é superado pela dificuldade de calcular a

função objetivo das aplicações propostas para toda a população a cada ciclo. No AG desenvolvido, a substituição constitui uma técnica de *elitismo* (Seção 3.6.2.9), que melhora o desempenho do AG e reduz os erros de amostragem, pois garante a permanência dos melhores indivíduos (a *elite*) da população, de uma geração para a outra, substituindo apenas aqueles de pior aptidão pelos indivíduos obtidos da reprodução.

Tal substituição é semelhante à técnica de *dizimação* descrita na Seção 3.5.5.2, procurando evitar que soluções muito ruins sejam reproduzidas (erros de amostragem). Em cada ciclo do AG, ao final da avaliação com a função objetivo, a população é ordenada<sup>17</sup> pelo valor da aptidão. Daí, é possível remover (dizimar) os indivíduos abaixo de uma *linha de corte*, que serão substituídos por aqueles gerados na reprodução,  $N_{IG}$ . O número de indivíduos abaixo da *linha de corte* é especificado em (5.19) e define o percentual de substituição do AG ( $N_{IG}(\%) = 100 \cdot N_{IG} / N$ ), uma vez que o total de indivíduos produzidos por recombinação e mutação é controlado de forma determinística (Seções 5.3.7 e 5.3.8). Desse modo, tem-se um SSGA-55% para a Versão 1.0 ( $t_r = 30\%$  e  $t_m = 25\%$ ) e um SSGA-45% para a Versão 1.1 em diante ( $t_r = 35\%$  e  $t_m = 10\%$ ).

$$N_{IG} = (t_r + t_m) \cdot N \quad (5.19)$$

### 5.3.10 - Condições de Término

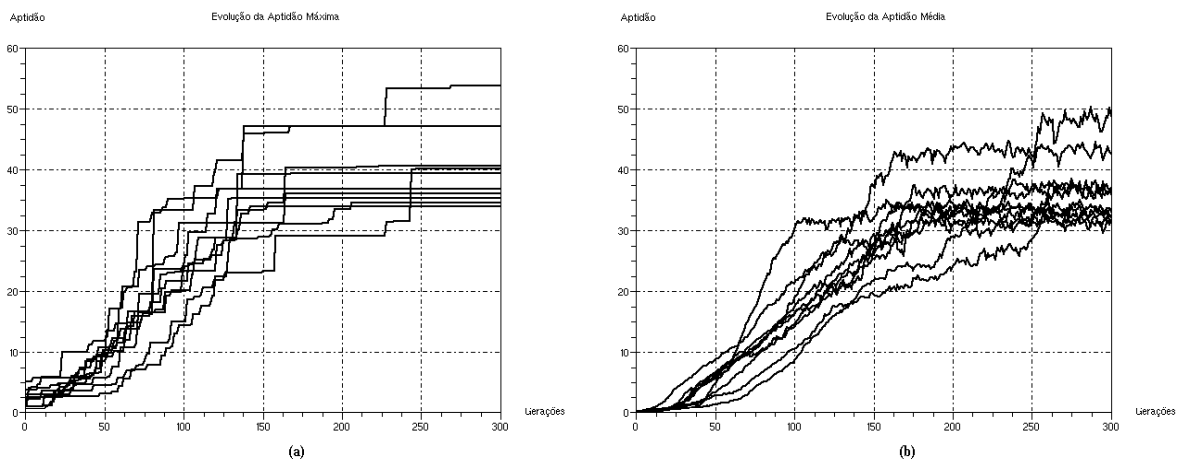
Os processos descritos anteriormente são repetidos iterativamente, esperando que a qualidade média dos indivíduos aumente a cada ciclo até encontrar a solução ótima. Contudo, é possível que apenas boas soluções sejam geradas e, na prática, pode não se saber se a solução alcançada é um ótimo global ou local, de sorte que se costuma adotar critérios práticos de término dos AG's. Neste trabalho, conforme citado na Seção 5.3.7, adotou-se um número máximo de 200 gerações para a Versão 1.0 da função O3AG e 300 gerações para a Versão 1.1 em diante. Esses valores de gerações foram considerados suficientes a partir dos testes, onde se constatou que valores maiores traziam pouca ou nenhuma melhoria significativa, apenas aumentando o tempo de processamento.

---

<sup>17</sup> Esta ordenação é realizada pela função *sort()* do Scilab, que classifica um vetor em ordem decrescente.

A Figura 5.3 mostra a evolução das aptidões máxima e média da população no decorrer das gerações, para a Versão 1.1 e o lóbulo principal de radiação com ângulo  $\theta_0$  igual a  $90^\circ$  (Teste S do Apêndice III), onde, em dez simulações, todas têm rápida evolução nas primeiras gerações, em virtude da recombinação, e passam a ter “saltos” evolutivos provenientes da mutação, até convergirem adequadamente por volta de 200 gerações. Verifica-se que a aptidão média, Figura 5.3 (b), segue a tendência de evolução da máxima, Figura 5.3 (a), com um atraso de algumas gerações, e apresenta variações a cada geração, por substituir parte da população, introduzindo indivíduos de diferentes aptidões, em busca de aumentar a diversidade genética. A Figura 5.4 apresenta a evolução da aptidão máxima da população na Versão 1.1 para  $\theta_0$  igual a  $10^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$  e  $60^\circ$  (Testes Z, AC, AD e AE do Apêndice III), ratificando a convergência de todos os casos, em dez simulações.

As Figuras 5.3 e 5.4 procuram mostrar que todas as simulações convergiram e que a escolha do número máximo de gerações como critério de término foi adequada, tendo um tempo de processamento (Apêndices II a VII) aceitável nesta fase da ferramenta O3AG e observando que não é conhecido um valor máximo de aptidão, para finalizar o AG num erro máximo admissível. Por outro lado, uma parada por estagnação na evolução da aptidão poderia impedir evoluções futuras, já que foram identificados casos de evolução aos “saltos”, depois de muitas gerações de estagnação (*Equilíbrios Pontuados*, Seção 3.3). A Figura 5.5 mostra uma simulação da Figura 5.3 (a), onde a aptidão ficou estagnada por mais de 70 gerações (entre 140 e 220 gerações) até apresentar um “salto” evolutivo.



**Figura 5.3** – Evolução da aptidão da população na Versão 1.1 com  $\theta_0 = 90^\circ$ . (a) Aptidão máxima.  
(b) Aptidão média.

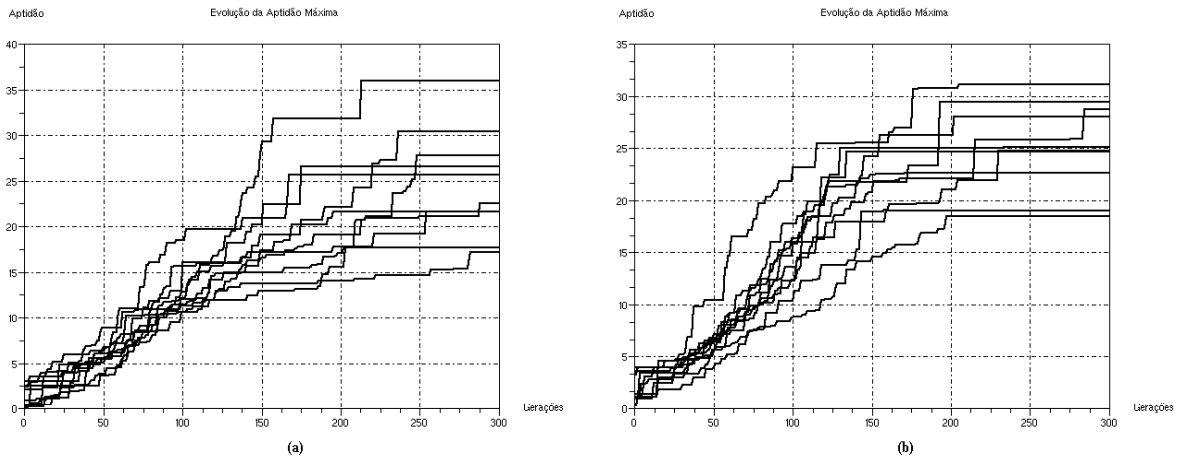


Figura 5.4 (a) e (b) – Evolução da aptidão máxima na Versão 1.1. (a)  $\theta_o = 10^\circ$ . (b)  $\theta_o = 30^\circ$ .

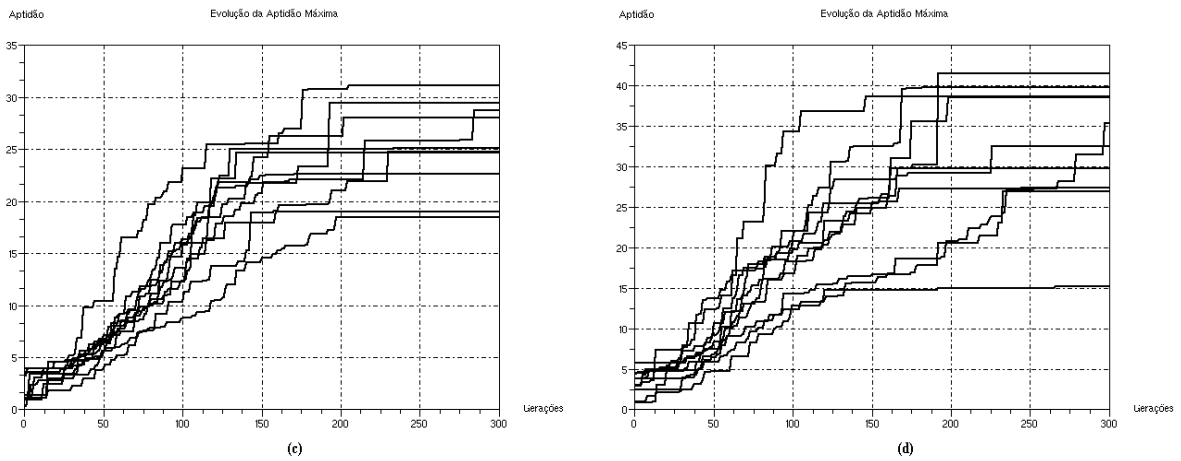


Figura 5.4 (c) e (d) – Evolução da aptidão máxima na Versão 1.1. (c)  $\theta_o = 45^\circ$ . (d)  $\theta_o = 60^\circ$ .

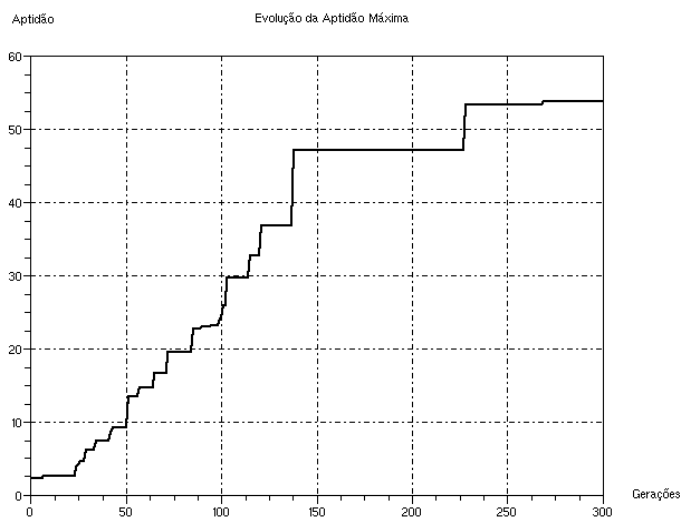


Figura 5.5 – Detalhe de uma simulação da Figura 5.3 (a), contendo “salto” evolutivo.

## 5.4 - Simulações e Resultados das Aplicações Propostas

### 5.4.1 - Considerações Iniciais

A partir das condições iniciais de operação das aplicações propostas no Capítulo 4 e das Versões da função O3AG tratadas nas Seções anteriores, foram realizados testes englobando essas condições e algumas outras, consideradas de interesse para validar a eficácia do AG desenvolvido na otimização do diagrama de radiação de arranjos de antenas, a fim de atender às especificações daquelas aplicações. Em cada teste, foram executadas 10 simulações, buscando verificar a capacidade do AG de reproduzir os resultados [18]. O teste foi considerado válido quando convergiu em todas as simulações e em, pelo menos, 70% delas alcançou um resultado que atendesse as condições de operação.

Esse percentual tem base na Seção 3.5.1, onde se verificou que os AG's possuem vários operadores probabilísticos, repletos de passos com respostas aleatórias, fazendo o progresso rumo à solução ótima ter diferentes percursos, de tal forma que o estudo das características de convergência é mais eficiente em termos da média ou maioria dos resultados de vários ensaios [12]. Os resultados dos testes para todas as Versões da função O3AG encontram-se condensados nas planilhas dos Apêndices II a VII, sendo tratados nesta Seção apenas as Versões 1.1, 2.1 e 3.1, as quais se referem diretamente às aplicações propostas, enquanto as demais Versões foram passos iniciais no desenvolvimento.

### 5.4.2 - Posicionamento do Feixe e Redução de Radiações Indesejáveis

#### 5.4.2.1 - Condições de Operação para os Testes

As condições de operação e de implementação utilizadas no AG da aplicação proposta para posicionamento do feixe e redução de radiações indesejáveis foram discutidas nas Seções 4.3.2 e 5.3.5.2. Nesse contexto, para analisar a eficácia da função O3AG Versão 1.1, no controle do diagrama de radiação do arranjo não apenas nessas condições, mas também em todo o plano de elevação, foram realizados testes com 5 direções do lóbulo principal de radiação, sendo  $\theta_0$  igual a 90°, 60°, 45°, 30° e 10° (Testes S, AE, AD, AC e Z da Versão 1.1, conforme Apêndice III). Esses testes são ilustrados na Figura 5.6, onde o lóbulo principal é representado por uma seta, identificada pela letra **P**.



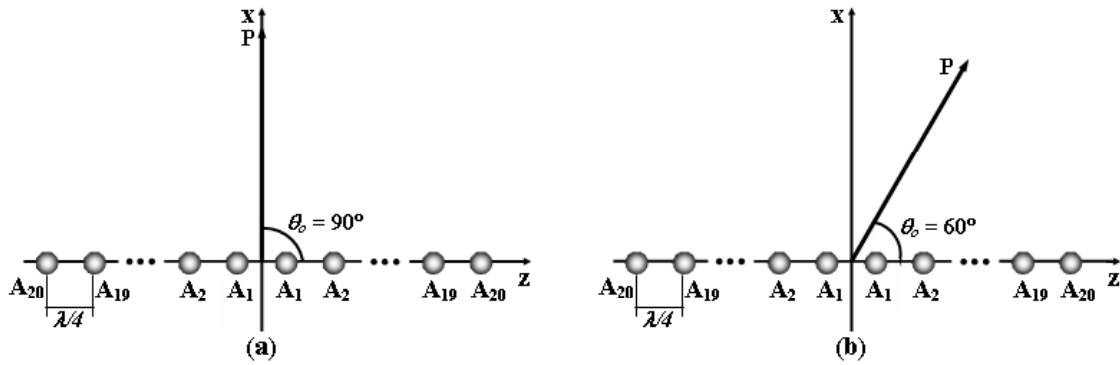


Figura 5.6 (a) e (b) – Direção do lóbulo principal. (a) Teste S. (b) Teste AE.

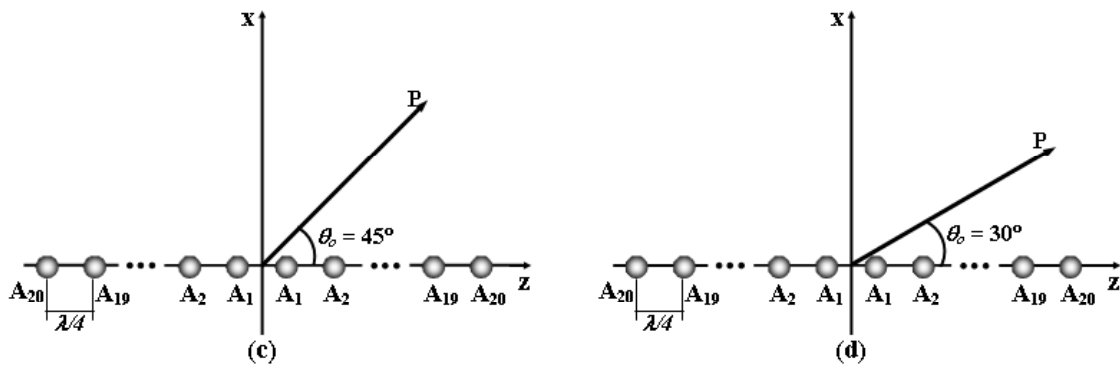


Figura 5.6 (c) e (d) – Direção do lóbulo principal. (c) Teste AD. (d) Teste AC.

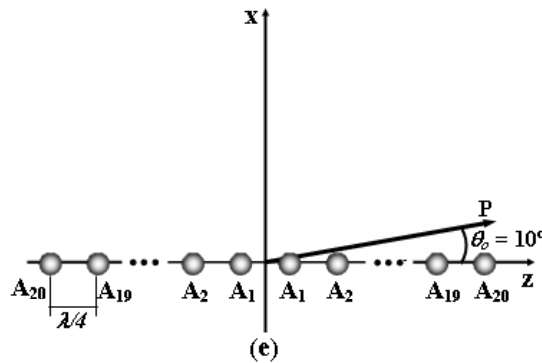


Figura 5.6 (e) – Direção do lóbulo principal. (e) Z.

Os valores de  $\theta_o$  correspondem aos principais ângulos de exploração no primeiro quadrante do plano de elevação, uma vez que a análise é semelhante no segundo quadrante. Ademais, o ângulo mínimo escolhido foi de  $\theta_o = 10^\circ$  (*quase end-fire*), por considerar que ângulos menores para um arranjo linear de 40 elementos não representam muito sentido prático; porém, testes preliminares, com até  $0^\circ$ , tiveram resultados semelhantes àqueles alcançados com  $10^\circ$ .

### 5.4.2.2 - Resultados das Simulações

Os resultados das 10 simulações realizadas com a Versão 1.1 da função O3AG para cada ângulo  $\theta_0$  estão sintetizados na Tabela 5.4, contendo o número de erros de apontamento,  $NE_{\theta}$ , e RSSL,  $NE_{RSSL}$ , dados em percentual (como nas Tabelas 5.2 e 5.3), o valor médio do ângulo de radiação,  $\theta_{med}$ , e os valores médio,  $RSSL_{med}$ , e máximo,  $RSSL_{max}$ , do RSSL. Os valores médios são calculados considerando apenas os resultados das simulações que não apresentaram erros de apontamento ou RSSL.

Ratifica-se que os critérios adotados para considerar o valor calculado na simulação como correto foram  $\pm 0,5^\circ$  para apontamento, devido à resolução disponível ( $\Delta\theta = 0,573^\circ$ ), e RSSL maior ou igual a 30 dB, para  $\theta_0 = 90^\circ$ , e a 27 dB, para  $\theta_0 < 90^\circ$ , onde é exigida razoável alteração do diagrama de radiação, dificultando o seu controle (Seção 4.3.2). Os testes utilizaram  $K_P = 1$  na função objetivo (5.7) e maiores informações de cada teste individualmente, inclusive análises, são dadas nas planilhas de resultados do Apêndice III.

<b>Param. Teste</b>	<b><math>NE_{\theta}</math> (%)</b>	<b><math>\theta_{med}</math> (<math>^\circ</math>)</b>	<b><math>NE_{RSSL}</math> (%)</b>	<b><math>RSSL_{med}</math> (dB)</b>	<b><math>RSSL_{max}</math> (dB)</b>
<b>S</b>	0	89,954	0	31,925	34,651
<b>AE</b>	0	60,161	10	30,876	32,575
<b>AD</b>	0	45,206	0	29,596	31,847
<b>AC</b>	0	29,794	20	28,891	30,232
<b>Z</b>	0	9,740	20	28,917	31,688

**Tabela 5.4** – Resumo dos resultados dos testes da primeira aplicação com a Versão 1.1.

O resultado geral dos testes foi extremamente satisfatório, pois todas as simulações convergiram adequadamente (como já foi explicado na Seção 5.3.10), não houve erros de apontamento, com alta estabilidade do valor obtido, e o número de erros de RSSL foi pequeno (20%, no máximo), de maneira a atender às condições de operação em mais de 70% das simulações, validando a eficácia da Versão 1.1 da função O3AG na otimização dos diagramas de radiação do arranjo linear.

A diferença entre os valores do ângulo de radiação desejado,  $\theta_0$ , e obtido,  $\theta_r$ , foi mínima e se deve à resolução disponível ( $\Delta\theta = 0,573^\circ$ ). Quanto ao RSSL, a Tabela 5.4

mostra valores elevados, reduzindo radiações em direções indesejáveis, e pequena diferença entre a média e o máximo, indicando estabilidade nos resultados. Verifica-se que o maior número de erros ocorreu com baixos valores de  $\theta_0$ ,  $30^\circ$  e  $10^\circ$ , próximos à condição *end-fire*,  $0^\circ$ , onde é bastante difícil controlar o diagrama e atender a todas as restrições.

Tais valores de RSSL poderiam ser maiores, mas, como foi explicado na Seção 5.3.5.2, neste trabalho, o apontamento correto é essencial, de modo a optar por  $K_p = 1$ , aumentando a influência do apontamento no valor da aptidão. Obviamente, isso reduz a chance de alcançar elevados valores de aptidão para  $\theta_0 = 90^\circ$ , como o excelente resultado da segunda simulação do teste A da Versão 1.1 para  $K_p = 0,05$ , com aptidão maior que 75 e RSSL superior a 37 dB, citado em nota na Seção 5.3.7. Contudo, garante-se atender os requisitos de operação em todo o plano de elevação. A Tabela 5.5 contém os valores dos níveis de amplitude,  $A_n$ , e fase progressiva de excitação,  $\beta$ , dos indivíduos de maior aptidão da população nas simulações com melhor resultado em cada teste executado.

Ind. Teste	[ $A_1 A_2 A_3 A_4 A_5 A_6 A_7 A_8 A_9 A_{10} A_{11} A_{12} A_{13} A_{14} A_{15} A_{16} A_{17} A_{18} A_{19} A_{20}$ ] (Adm)	$\beta$ ( $^\circ$ )
S	[6 5 6 4 6 4 4 5 5 0 6 3 0 4 2 0 2 1 0 1]	-0,04
AE	[7 7 7 7 6 6 6 5 6 4 5 3 4 3 2 3 1 3 0 2]	-22,35
AD	[6 6 7 5 7 4 6 4 5 4 3 4 2 3 1 3 1 2 0 1]	148,37
AC	[6 6 6 6 6 6 5 5 4 4 3 4 2 3 2 2 1 1 1 1]	141,00
Z	[6 6 6 6 6 6 5 5 4 4 4 3 3 2 2 2 1 1 1 1]	-44,31

**Tabela 5.5** – Indivíduos de maior aptidão da população nas simulações com melhor resultado em cada teste executado para a Versão 1.1.

Lembrando que um indivíduo contém somente um lado do arranjo, pois este tem distribuição simétrica de amplitudes, em relação à origem (Seção 2.4.2), percebe-se que o valor de  $A_n$  é maior nos elementos centrais,  $A_1$  a  $A_{10}$ . Por outro lado, quando  $\theta_0$  diminui,  $\beta$  aumenta em valor absoluto, pois os testes consideram o módulo do diagrama de radiação, sendo indiferente um  $\beta$  negativo ou seu suplemento ( $\beta$  pode ser  $148,37^\circ$  ou  $-31,63^\circ$ , em AD, e  $141,00^\circ$  ou  $-39,00^\circ$ , em AC, por exemplo). Com isso e sabendo que, normalmente,  $A_n$  controla o nível dos lóbulos secundários e  $\beta$  controla a direção do lóbulo principal (Seção 2.4.1), constata-se que o AG buscou direcionar o lóbulo principal, aumentando  $\beta$  para  $\theta_0$  decrescendo de  $90^\circ$  a  $10^\circ$ , e reduzir o RSSL, diminuindo  $A_n$  nos elementos laterais.

Os diagramas de radiação otimizados pela ferramenta O3AG, para as simulações da Tabela 5.5, são mostrados no plano de elevação, em decibéis, nas Figuras 5.7, na forma polar, e 5.8, na forma cartesiana, e ilustram as análises feitas para a Tabela 5.4. Em suma, a Figura 5.7 demonstra a ausência de erros de apontamento, a menos do pequeno desvio da resolução do AG, e a Figura 5.8 comprova o elevado RSSL, superior a 30 dB. As Figuras também evidenciam a deformação do diagrama próximo à condição de operação *end-fire*, o que acarreta a maioria dos erros de RSSL. Baixos valores de  $\theta_0$ , como  $30^\circ$  e  $10^\circ$ , além de um  $\beta$  maior, como esperado (Seção 2.4.1), exigem a participação dos elementos laterais para compor um feixe tão deslocado do centro. Assim, da Tabela 5.5, os valores de  $A_n$  nos últimos elementos dos testes AC,  $30^\circ$ , e Z,  $10^\circ$ , são iguais, sendo maiores que nos demais casos. Das explicações anteriores, verifica-se que isso prejudica a otimização do RSSL.

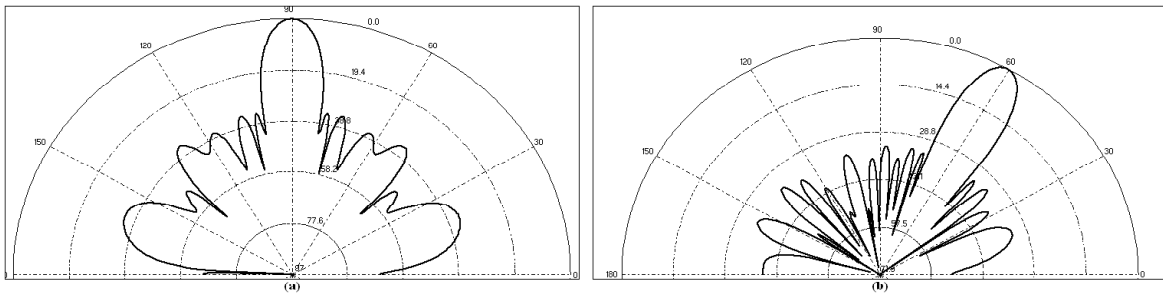


Figura 5.7 (a) e (b) – Diagrama polar das simulações da Tabela 5.5. (a) Teste S. (b) Teste AE.

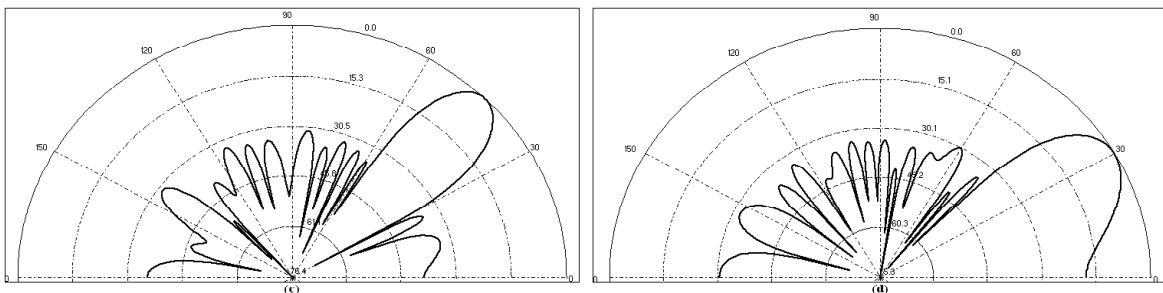


Figura 5.7 (c) e (d) – Diagrama polar das simulações da Tabela 5.5. (c) Teste AD. (e) Teste AC.

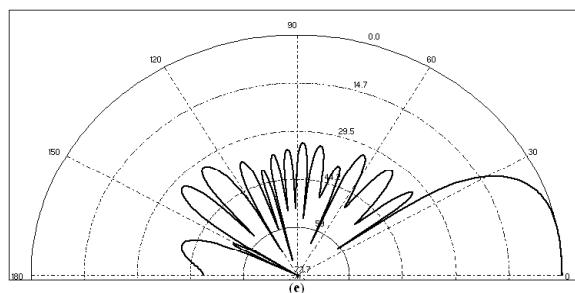


Figura 5.7 (e) – Diagrama polar das simulações da Tabela 5.5. (e) Teste Z.

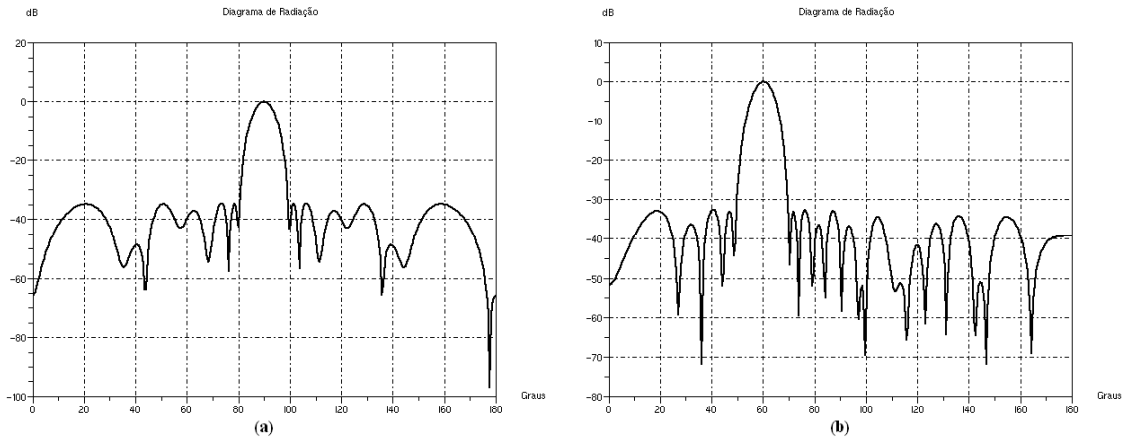


Figura 5.8 (a) e (b) – Diagrama cartesiano das simulações da Tabela 5.5. (a) Teste S. (b) Teste AE.

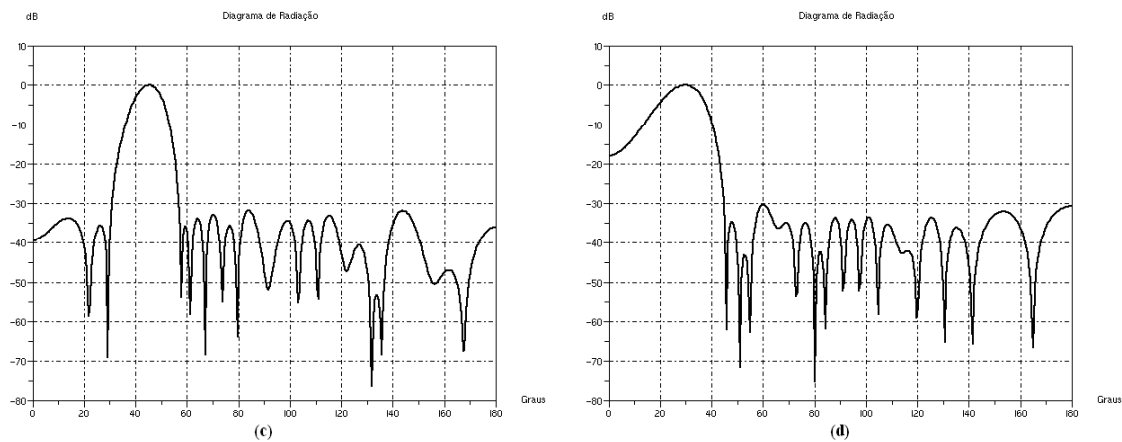


Figura 5.8 (c) e (d) – Diagrama cartesiano das simulações da Tabela 5.5. (c) Teste AD. (e) Teste AC.

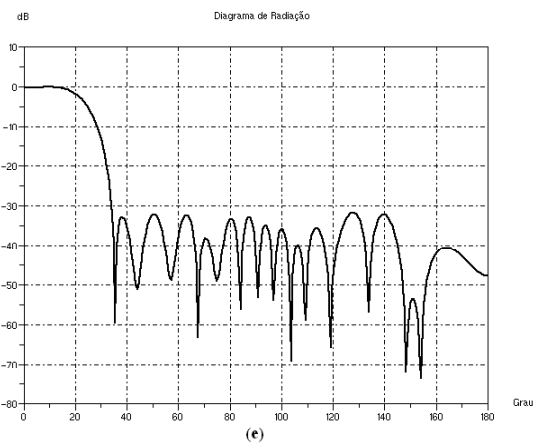


Figura 5.8 (e) – Diagrama cartesiano para as simulações da Tabela 5.5. (e) Teste Z.

Com intuito de validar a otimização exercida pelo AG da ferramenta, os resultados dessas simulações são comparados com estudos divulgados nas referências bibliográficas. No primeiro caso, em [12], tem-se uma situação bastante semelhante, ou seja, um arranjo linear de 40 elementos isotrópicos simetricamente distribuídos, em relação à origem, com

espaçamento de  $0,3\lambda$ , onde o objetivo da otimização é, apenas, aumentar o RSSL, conseguindo resultados da ordem de 20 dB, para  $\theta_0 = 90^\circ$ , através de um AG com população de 100 indivíduos, codificação binária, com dois níveis de amplitude de excitação (“1” alimentado e “0” não alimentado) e seleção por dizimação.

Em [4], também há um arranjo linear de 40 elementos isotrópicos simetricamente distribuídos, mas com espaçamento de  $0,1\lambda$  e objetivo de otimizar o RSSL e a direção de radiação, obtendo RSSL de 32,9 dB, para  $\theta_0 = 60^\circ$ , num AG com 200 indivíduos e codificação binária de oito níveis para a amplitude e  $2^{16}$  para a fase progressiva. Excelentes resultados são apresentados em [16], no controle de vários pontos do diagrama de radiação, registrando um RSSL em torno de 40 dB, para  $\theta_0 = 60^\circ$ , num arranjo linear de 30 elementos, com codificação binária de 256 níveis para a amplitude e mais 256 para a fase.

Apesar de cada trabalho citado ter suas peculiaridades, os valores dos seus resultados confirmam o êxito no AG desenvolvido. Para  $\theta_0$  igual a  $90^\circ$  e a  $60^\circ$ , o RSSL máximo obtido foi de 34,651 e 32,575 dB, respectivamente (Tabela 5.4), valores comparáveis ou até maiores que aqueles das referências bibliográficas, ressaltando o uso de apenas oito níveis de amplitude (em [16], havia 256 níveis). Isso para a Versão 1.1 de O3AG, com  $K_p = 1$ , visando atender também as outras aplicações do Capítulo 4, pois, para  $K_p = 0,05$ , o RSSL foi maior que 37 dB, sendo superior até ao valor calculado pelo método Dolph-Tschebyscheff para essa configuração de arranjo (36,10 dB). Ademais, a maioria dos trabalhos afirma que os resultados são reproduzíveis e estáveis, mas não informam os valores médios dos resultados ou o número de simulações para chegar ao melhor resultado, ao passo que, neste trabalho, sempre são executadas 10 simulações para cada teste.

### **5.4.3 - Rejeição de Interferências com Direções de Chegada Conhecidas**

#### **5.4.3.1 - Condições de Operação para os Testes**

Para analisar a eficácia da função O3AG Versão 2.1 no controle do diagrama de radiação do arranjo, foi concebida uma série de situações de operação, que englobam as condições das Seções 4.3.3 e 5.3.5.3. Essa série consiste em posicionar o lóbulo principal no ângulo desejado do diagrama e direcionar seus “nulos” nas direções de chegada de dois

sinais interferentes, originando testes com 12 situações (Testes A a L da Versão 2.1, Apêndice V). A Figura 5.9 ilustra as situações dos testes, com as setas **P**, **I<sub>1</sub>** e **I<sub>2</sub>** representando o lóbulo principal e os dois sinais interferentes, respectivamente. Os testes consideram as direções das interferências, ou seja, quase-axial dupla (**I<sub>1</sub>** e **I<sub>2</sub>** quase *end-fire*) de A a C, quase-adjacente dupla (**I<sub>1</sub>** e **I<sub>2</sub>** afastados de 10°) de D a F, frontal dupla (**I<sub>1</sub>** e **I<sub>2</sub>** de frente a **P**) de G a I e diagonal-lateral (**I<sub>1</sub>** em diagonal e **I<sub>2</sub>** lateralmente a **P**) de J a L.

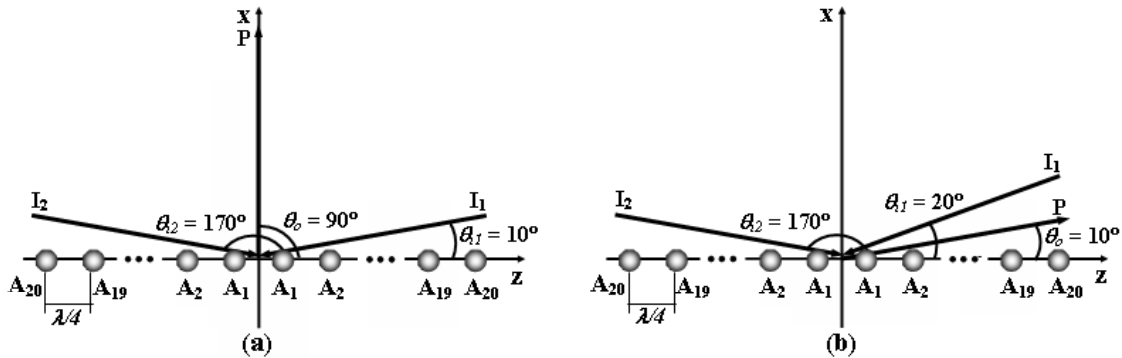


Figura 5.9 (a) e (b) – Direções do lóbulo principal e dos sinais interferentes. (a) Teste A. (b) Teste B.

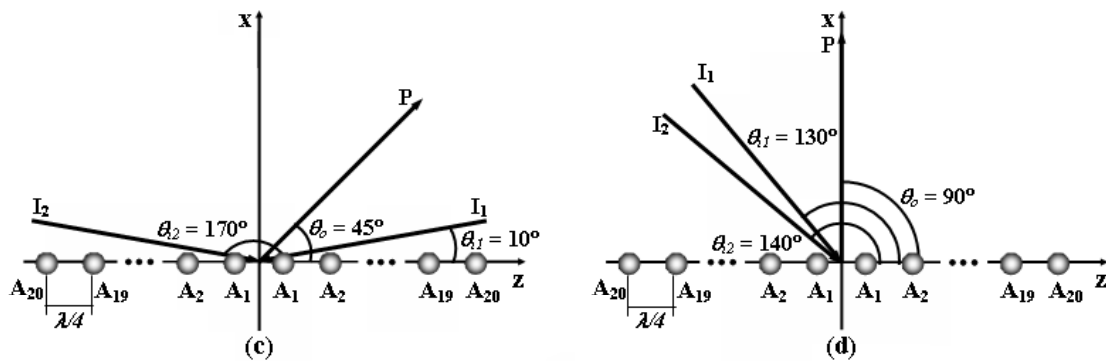


Figura 5.9 (c) e (d) – Direções do lóbulo principal e dos sinais interferentes. (c) Teste C. (d) Teste D.

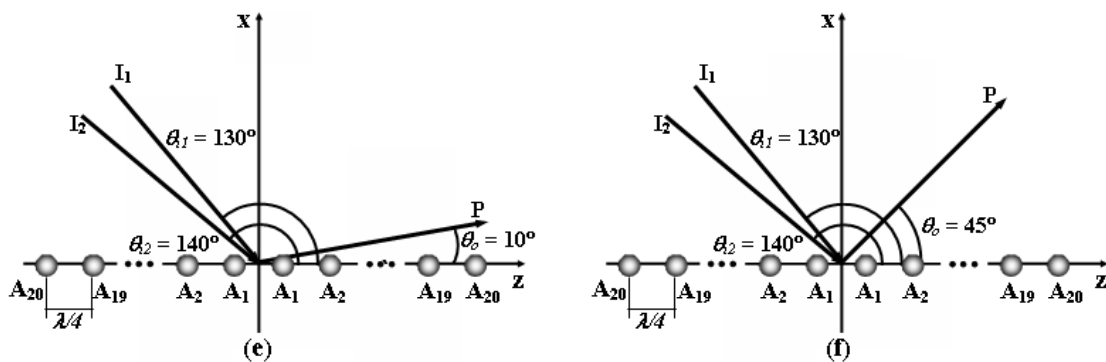


Figura 5.9 (e) e (f) – Direções do lóbulo principal e dos sinais interferentes. (e) Teste E. (f) Teste F.

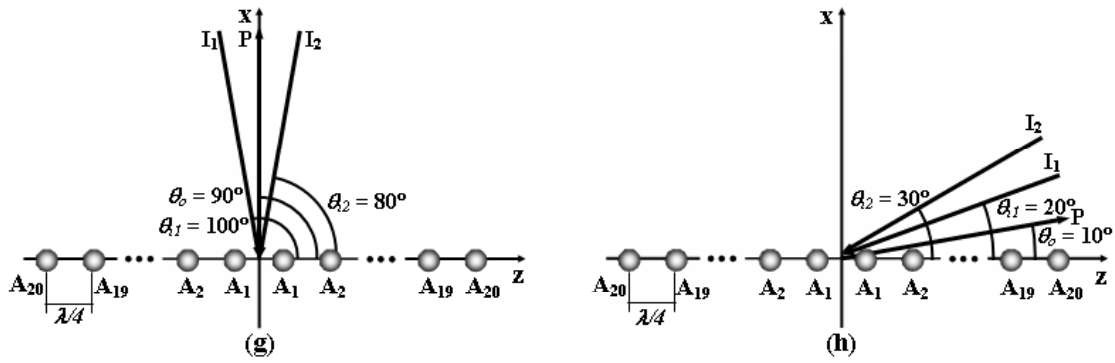


Figura 5.9 (g) e (h) – Direções do lóbulo principal e dos sinais interferentes. (g) Teste G. (h) Teste H.

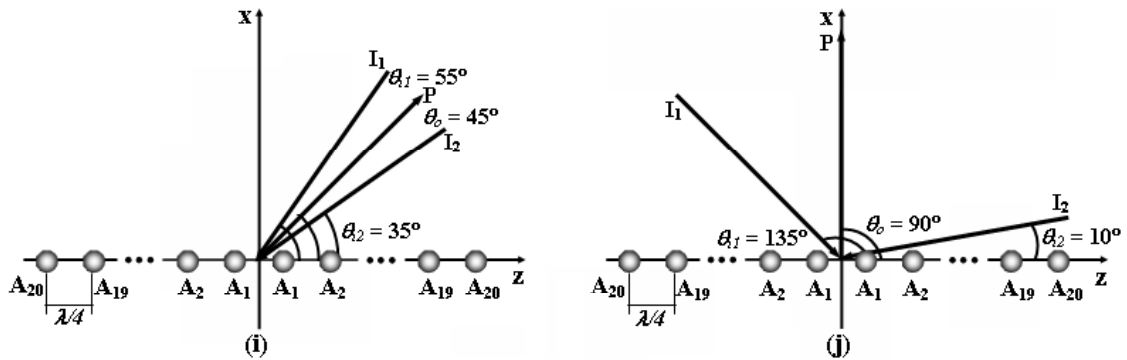


Figura 5.9 (i) e (j) – Direções do lóbulo principal e dos sinais interferentes. (i) Teste I. (j) Teste J.

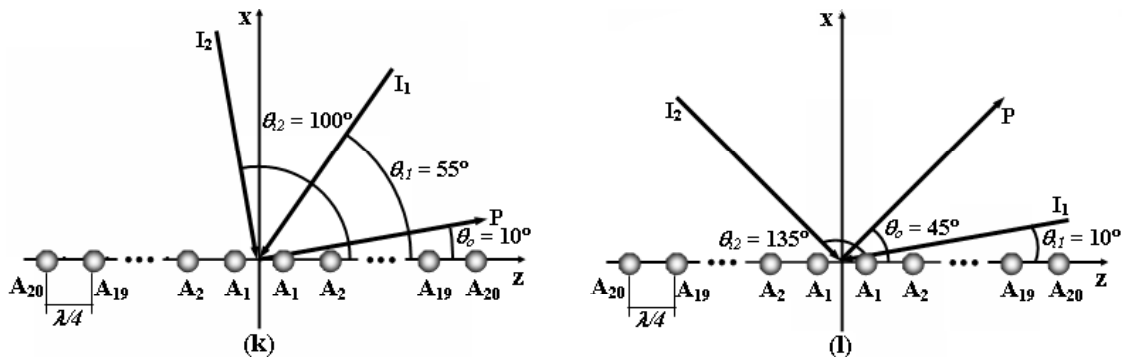


Figura 5.9 (k) e (l) – Direções do lóbulo principal e dos sinais interferentes. (k) Teste K. (l) Teste L.

Os ângulos dos sinais interferentes,  $\theta_{I1}$  e  $\theta_{I2}$ , foram estipulados visando situações extremas de operação, com  $\theta_o$  igual a  $90^\circ$ ,  $45^\circ$  e  $10^\circ$ . Na interferência dupla quase-axial, o AG deve direcionar “nulos” do diagrama em ângulos afastados só  $10^\circ$  da condição axial ao eixo do arranjo,  $\theta_{I1} \cong 10^\circ$  e  $\theta_{I2} = 170^\circ$ , sendo  $\theta_{I1} = 20^\circ$  para  $\theta_o = 10^\circ$ , pois não é possível  $\theta_o = \theta_{I1}$ . Para a interferência dupla quase-adjacente, a potência interferente é concentrada quase totalmente na mesma direção de chegada, exigindo que o AG posicione dois “nulos” afastados apenas  $10^\circ$  um do outro,  $\theta_{I1} = 130^\circ$  e  $\theta_{I2} = 140^\circ$ , sendo escolhidas interferências no segundo quadrante para não coincidir com o lóbulo principal, situação do próximo teste.



No caso da interferência frontal, os sinais interferentes estão posicionados nas direções mais próximas possíveis àquela do lóbulo principal, fazendo com que o AG tenha de direcionar “nulos” do diagrama de radiação “vizinhos” ao seu valor máximo,  $\theta_{i1} = \theta_o + 10^\circ$  e  $\theta_{i2} \cong \theta_o - 10^\circ$ . O último tipo de interferência analisado é a diagonal-lateral, onde o AG deverá posicionar os “nulos” nas direções diagonal e lateral ao lóbulo principal,  $\theta_{i1} \cong \theta_o \pm 45^\circ$  e  $\theta_{i2} \cong \theta_o \pm 90^\circ$ . Assim como na Seção 5.4.2.1, foi adotado o ângulo mínimo de  $\theta_o = 10^\circ$ , por considerar ângulos menores com pouco sentido prático.

### 5.4.3.2 - Resultados das Simulações

As 10 simulações realizadas com a Versão 2.1 da função O3AG para cada uma das 12 situações de operação supracitadas têm seus resultados resumidos na Tabela 5.6, contendo, além dos parâmetros da Tabela 5.4, o número de erros,  $NE_{RMI}$ , e os valores médio,  $RMI_{med}$ , e máximo,  $RMI_{max}$ , do RMI. Salienta-se que os valores médios não consideram as simulações com erros de apontamento, RSSL ou RMI e, a cada simulação, só é registrado o pior caso de RMI, ou seja, o “nulo” de menor valor para as duas interferências. O critério para considerar correto o valor de apontamento foi mantido, enquanto o de RSSL foi alterado para maior ou igual a 15 dB. e foi acrescentado que o RMI deve ser maior ou igual a 50 dB (Seção 4.3.3). Informações detalhadas de cada teste, inclusive análises, estão nas planilhas de resultados do Apêndice V.

Param. Teste	$NE_\theta$ (%)	$\theta_{med}$ (°)	$NE_{RSSL}$ (%)	$RSSL_{med}$ (dB)	$RSSL_{max}$ (dB)	$NE_{RMI}$ (%)	$RMI_{med}$ (dB)	$RMI_{max}$ (dB)
A	10	89,954	0	22,514	24,985	0	59,127	65,906
B	0	-	10	-	22,938	100	-	-
C	0	45,092	0	20,711	25,257	0	56,587	76,986
D	0	89,954	0	22,544	26,616	0	51,461	56,718
E	0	9,884	20	17,957	19,933	10	53,320	59,383
F	0	45,092	0	19,707	22,243	0	54,107	61,069
G	0	89,954	0	25,118	29,644	0	54,627	73,388
H	0	-	0	-	20,587	100	-	-
I	0	45,264	0	19,813	22,976	60	53,049	55,429
J	0	89,954	0	21,775	24,390	0	52,376	56,453
K	0	10,170	20	18,387	20,447	0	52,299	56,546
L	0	45,092	0	19,223	22,265	0	51,772	55,124

Tabela 5.6 – Resumo dos resultados dos testes da segunda aplicação com a Versão 2.1.

Com exceção dos testes B, H e I, o resultado geral foi satisfatório, as simulações convergiram adequadamente, somente um erro de apontamento em 120 simulações (alta estabilidade), pequeno número de erros de RSSL (20%, no máximo) e altos valores de RMI<sup>18</sup>. Como ocorreu na Seção 5.4.2.2, há um desvio mínimo entre os valores desejado e obtido para  $\theta_0$ , devido à resolução disponível no AG ( $\Delta\theta = 0,573^\circ$ ), e o RSSL tem valores elevados e com pequena diferença entre a média e o máximo, o que mostra adequação e estabilidade nos resultados, tendo em vista a dificuldade da aplicação, com restrições rigorosas de direcionamento de lóbulo e “nulos”. Essas restrições dificultam a otimização, provocando erros de RSSL, que, mesmo assim, ocorreram apenas com  $\theta_0 = 10^\circ$ , próximo à condição *end-fire*, onde é bastante difícil controlar o diagrama.

Com relação aos três testes B e H, os 100% de erro de RMI indicam a impossibilidade de direcionar um “nulo” do diagrama de radiação nesses casos, pois o posicionamento do lóbulo principal muito próximo à condição axial (*end-fire*) exige uma maior largura de feixe, conforme o compromisso de projeto citado nas Seções 2.4.1, 4.2.1 e 4.3.3, o que impede eliminar um sinal interferente apenas  $10^\circ$  acima do referido lóbulo.

No teste I, apesar do lóbulo principal a  $45^\circ$  dar grande flexibilidade no posicionamento de “nulos” em outras direções (testes C, F e L), o controle acarreta razoável deformação do diagrama de radiação abaixo do lóbulo,  $\theta_0 < 45^\circ$ , reduzindo a disponibilidade de “nulos” nessa região, o que dificulta eliminar um sinal interferente somente  $10^\circ$  abaixo do lóbulo; porém, mesmo assim, o AG obteve uma solução ótima em 40% dos casos.

Desse modo, excluindo os testes B e H, onde é inviável estabelecer o controle desejado, 9 em 10 situações testadas atenderam às condições de operação em mais de 70% das simulações, o que valida a eficácia da Versão 2.1 da função O3AG na otimização dos diagramas de radiação do arranjo linear para a segunda aplicação. Na Tabela 5.7, estão

---

<sup>18</sup> Como é registrado apenas o menor valor de RMI de cada simulação, valores como no teste C são expressivos, com “nulos” 76,9 dB abaixo do lóbulo principal, isto é, mais de 7 mil vezes menores.

apresentados os valores dos níveis de amplitude,  $A_n$ , e fase progressiva de excitação<sup>19</sup>,  $\beta$ , dos indivíduos de maior aptidão da população nas simulações com melhor resultado em cada teste executado.

Ind. Teste	[ $A_1 A_2 A_3 A_4 A_5 A_6 A_7 A_8 A_9 A_{10} A_{11} A_{12} A_{13} A_{14} A_{15} A_{16} A_{17} A_{18} A_{19} A_{20}$ ] (Adm)	$\beta$ (°)
A	[6 7 5 7 1 7 4 4 6 5 1 5 4 1 5 0 3 1 1 1]	-0,10
B	[7 7 7 6 7 4 6 6 5 4 6 6 4 4 3 2 2 2 3 3]	135,64
C	[6 6 6 4 7 4 7 4 6 3 6 1 5 2 4 0 2 2 2 1]	147,91
D	[6 6 7 5 7 7 4 4 5 6 2 5 4 3 3 2 3 2 1 2]	0,03
E	[6 6 4 7 7 5 6 7 5 4 1 5 5 5 5 3 3 3 3 3]	-44,31
F	[5 6 6 6 5 4 4 5 6 5 1 5 1 5 1 5 2 4 0 3]	-32,01
G	[6 7 6 7 4 7 5 5 3 7 2 2 6 0 3 3 1 2 1 2]	179,75
H	[6 5 6 5 6 4 6 5 4 5 4 3 4 3 4 4 3 2 5 3]	-44,36
I	[5 7 6 7 4 7 5 7 2 6 4 5 5 2 3 3 6 3 5 2]	148,47
J	[5 5 7 4 5 5 4 6 2 5 4 2 5 4 0 3 3 2 2 3]	-0,19
K	[5 5 6 6 4 6 4 2 3 6 4 3 4 3 4 2 2 3 2 2]	135,74
L	[6 5 5 6 6 6 5 5 5 5 4 4 2 5 1 5 2 2 2 4]	-31,80

**Tabela 5.7** – Indivíduos de maior aptidão da população nas simulações com melhor resultado em cada teste executado para a Versão 2.1.

Assim como na Seção 5.4.2.2, o AG buscou direcionar o lóbulo principal, aumentando  $\beta$  à medida que  $\theta_0$  decresce de  $90^\circ$  a  $10^\circ$ , e reduzir o RSL, diminuindo  $A_n$  nos elementos laterais, como esperado, ratificando que  $A_n$  controla o nível dos lóbulos secundários e  $\beta$  controla a direção do lóbulo principal (Seção 2.4.1). Quanto ao RMI, verificou-se, dentre as simulações de cada teste, inúmeras combinações de  $A_n$  que atendem ao nível de “nulo” especificado para a aplicação (50 dB), indicando o caráter altamente multimodal do problema. O AG busca indistintamente uma dessas combinações, contanto que permita otimizar o apontamento e o RSL.

As simulações da Tabela 5.7 têm seus diagramas de radiação otimizados pela ferramenta O3AG mostrados no plano de elevação, em decibéis, nas formas polar e cartesiana pelas Figuras 5.10 e 5.11, respectivamente.

<sup>19</sup> Como na Seção 5.4.2.2, os testes consideram o módulo do diagrama de radiação, sendo indiferente um  $\beta$  negativo ou seu suplemento, de maneira que, por exemplo, no teste B,  $\beta$  pode ser  $135,64^\circ$  ou  $-44,36^\circ$ .

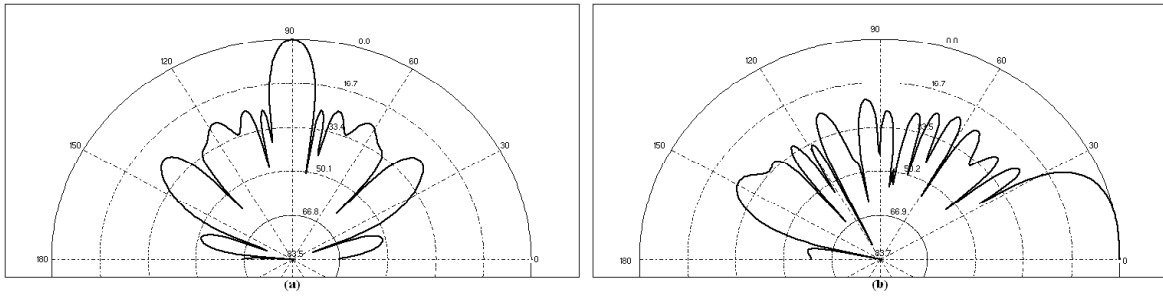


Figura 5.10 (a) e (b) – Diagrama polar das simulações da Tabela 5.7. (a) Teste A. (b) Teste B.

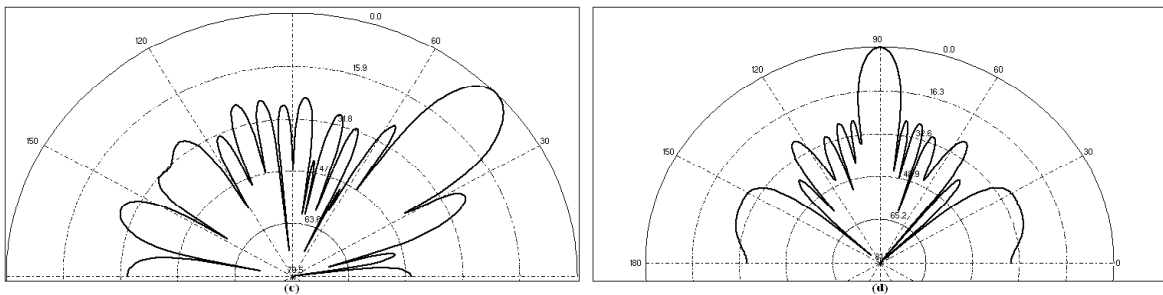


Figura 5.10 (c) e (d) – Diagrama polar das simulações da Tabela 5.7. (c) Teste C. (d) Teste D.

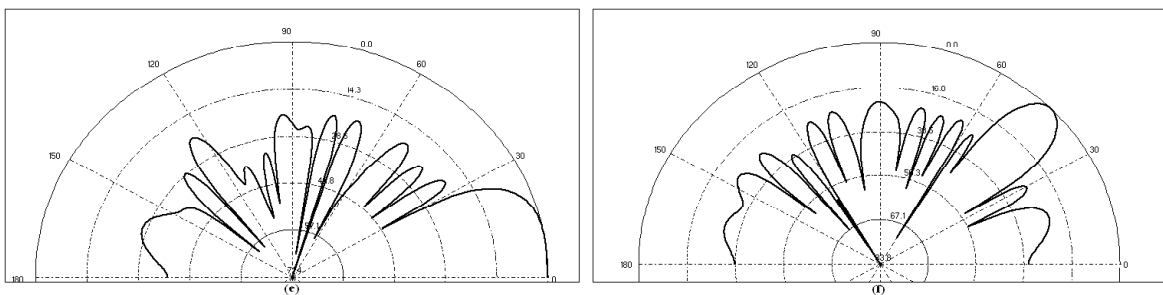


Figura 5.10 (e) e (f) – Diagrama polar das simulações da Tabela 5.7. (e) Teste E. (f) Teste F.

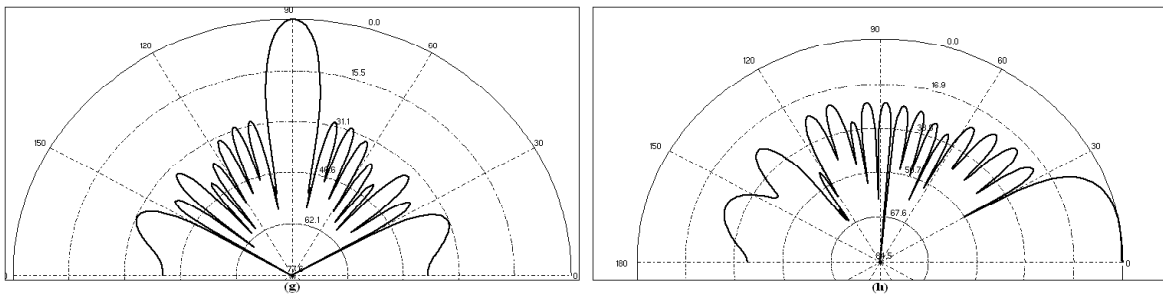


Figura 5.10 (g) e (h) – Diagrama polar das simulações da Tabela 5.7. (g) Teste G. (h) Teste H.

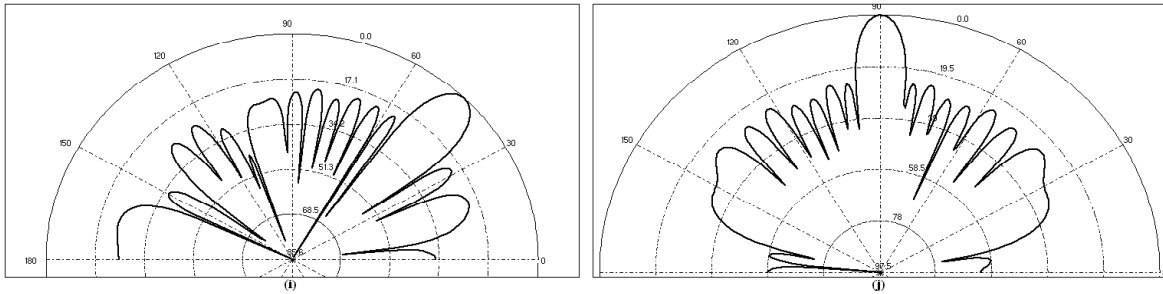


Figura 5.10 (i) e (j) – Diagrama polar das simulações da Tabela 5.7. (i) Teste I. (j) Teste J.

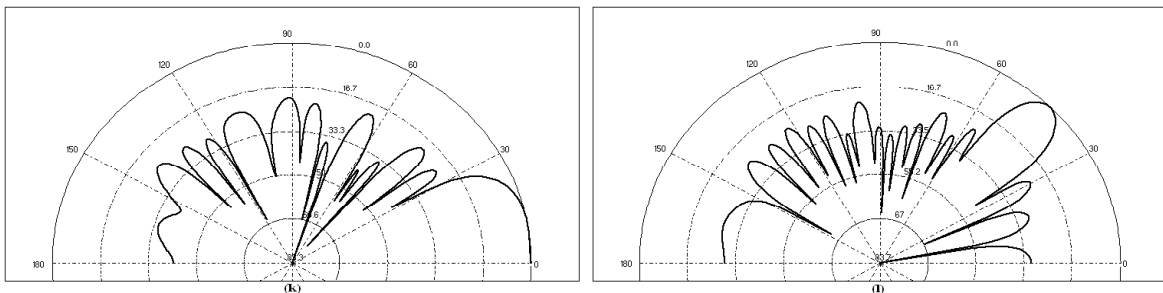


Figura 5.10 (k) e (l) – Diagrama polar das simulações da Tabela 5.7. (k) Teste K. (l) Teste L.

Na Figura 5.10, percebe-se a ausência de erros de apontamento, a menos do pequeno desvio de resolução do AG, e o direcionamento correto dos “nulos” nas direções de chegada dos sinais interferentes da maior parte dos casos. Na Figura 5.11, comprova-se o elevado RSSL, com valores iguais ou superiores a 19,9 dB. Além disso, as Figuras deixam evidente a deformação do diagrama próximo à direção *end-fire*, tanto para o lóbulo principal, quanto para os “nulos”, havendo maior contribuição dos valores de  $A_n$  nos elementos laterais do arranjo, o que origina os erros de RMI e RSSL.

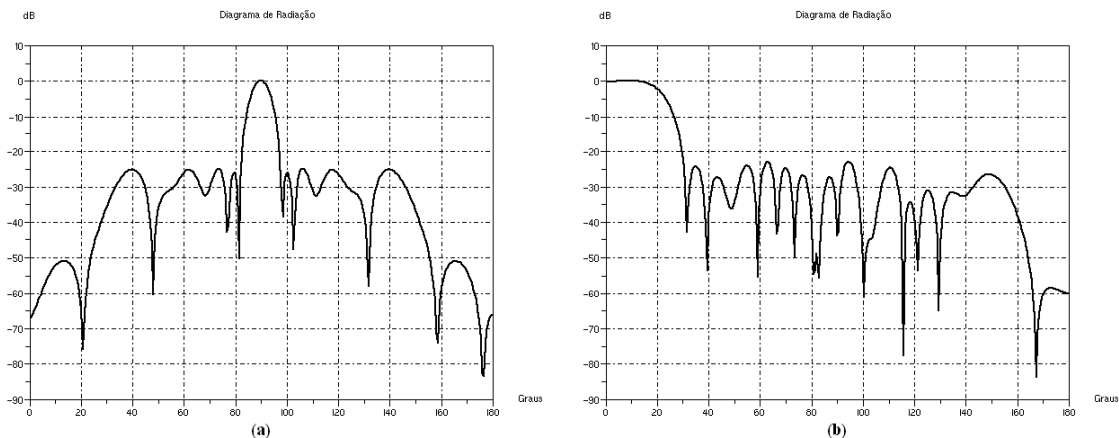


Figura 5.11 (a) e (b) – Diagrama cartesiano das simulações da Tabela 5.7. (a) Teste A. (b) Teste B.

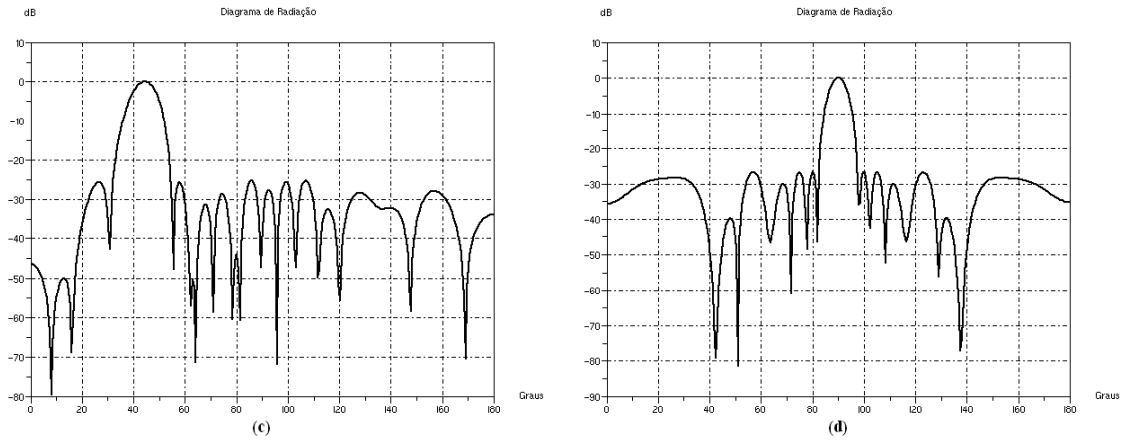


Figura 5.11 (c) e (d) – Diagrama cartesiano das simulações da Tabela 5.7. (c) Teste C. (d) Teste D.

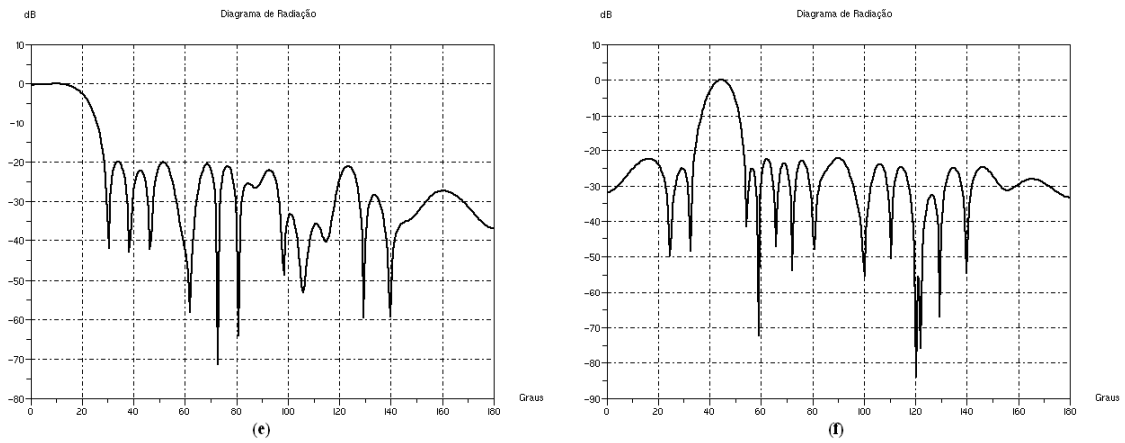


Figura 5.11 (e) e (f) – Diagrama cartesiano das simulações da Tabela 5.7. (e) Teste E. (f) Teste F.

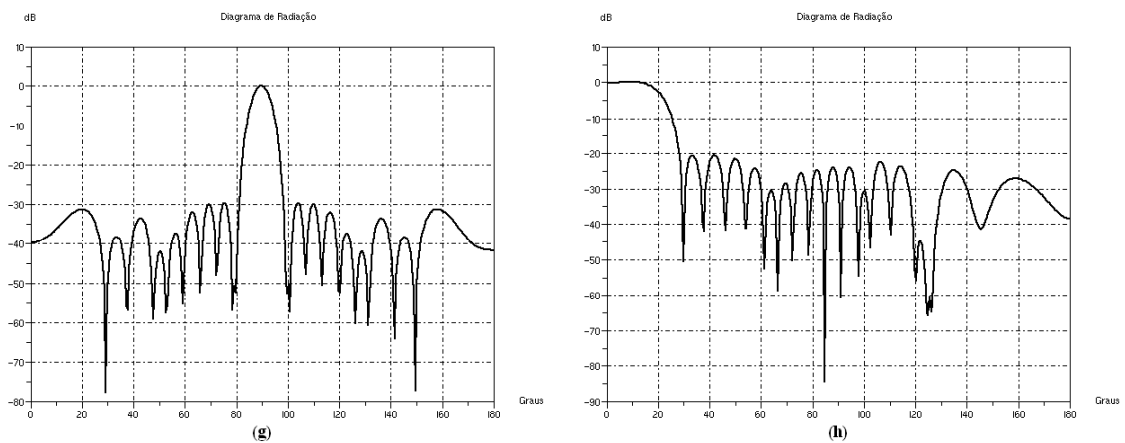


Figura 5.11 (g) e (h) – Diagrama cartesiano das simulações da Tabela 5.7. (g) Teste G. (h) Teste H.

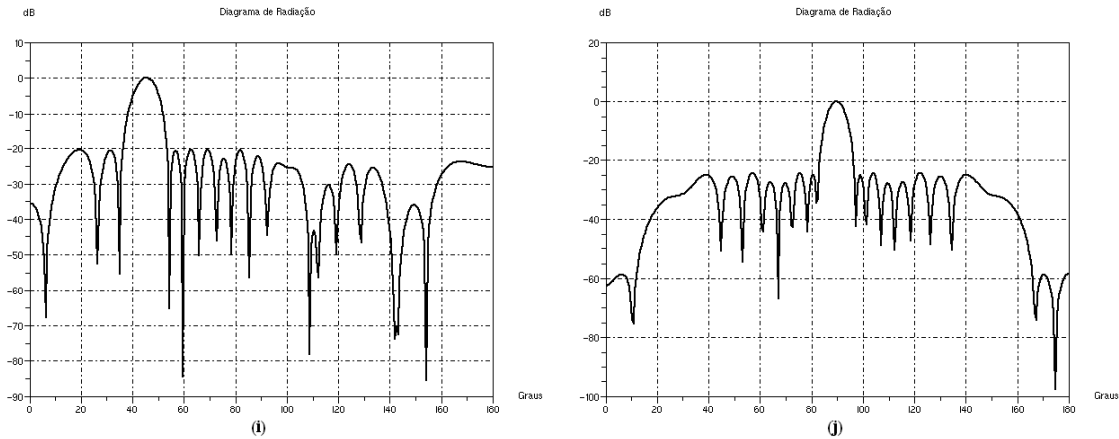


Figura 5.11 (i) e (j) – Diagrama cartesiano das simulações da Tabela 5.7. (i) Teste I. (j) Teste J.

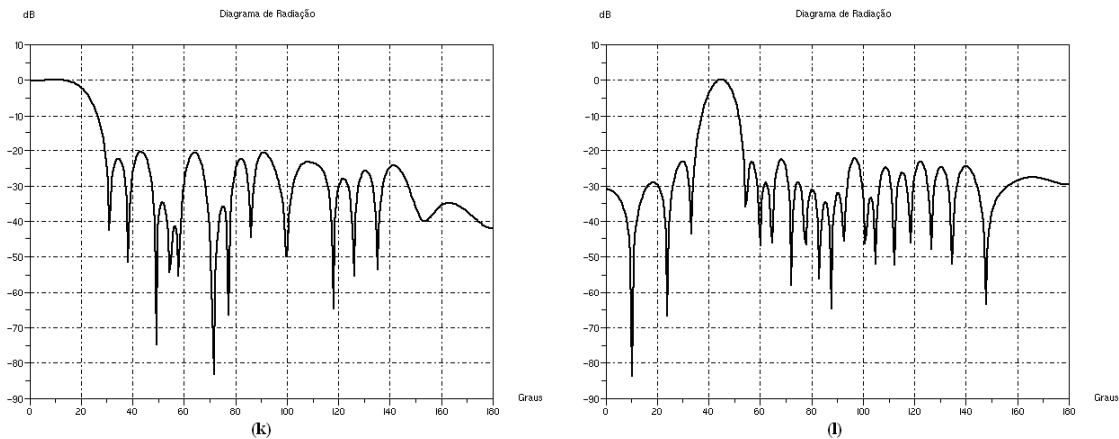


Figura 5.11 (k) e (l) – Diagrama cartesiano das simulações da Tabela 5.7. (k) Teste K. (l) Teste L.

Como foi feito na Seção 5.4.2.2, para validar a otimização exercida pelo AG da ferramenta, os resultados das simulações são comparados às referências bibliográficas. Assim sendo, em [16-17], há exemplos semelhantes à aplicação proposta, usando AG's para a otimização de múltiplos objetivos no controle do diagrama de radiação de arranjos lineares de elementos isotrópicos, sendo um objetivo o posicionamento de “nulos”.

Os resultados dessas referências bibliográficas comprovam novamente o êxito no AG desenvolvido, uma vez que mostram valores de “nulos” comparáveis, ou até inferiores, àqueles obtidos pelo AG da função O3AG Versão 2.1. Inclusive, em [16], é registrada a dificuldade para obter mínimos e valores 40 dB abaixo do lóbulo principal, enquanto, neste trabalho, foram alcançados valores abaixo de 50 dB (em alguns casos, abaixo de 76,9 dB), sendo sempre executadas 10 simulações para cada teste da função, provando, também, que os resultados são reproduzíveis e estáveis.

## 5.4.4 - Supressão de Regiões Sem Cobertura

### 5.4.4.1 - Condições de Operação para os Testes

A Versão 3.1 da função O3AG realiza o controle eletrônico do diagrama de radiação do arranjo, com o propósito de otimizar a supressão de regiões sem cobertura ou “sombas”, devido a “nulos” do diagrama nas direções sob o lóbulo principal. A fim de averiguar a validade dessa Versão, foram eleitas cinco situações de testes (Testes A a E da Versão 3.1, no Apêndice VII), abrangendo as condições de operação e de implementação do AG (Seções 4.3.4 e 5.3.5.4) e objetivando controlar a alimentação dos elementos do arranjo, para direcionar o ângulo de inclinação (*tilt* elétrico), aumentar o RSSL e preencher os “nulos”, criando contornos mais “suaves” que eliminam as regiões sem cobertura.

Tais situações são ilustradas na Figura 5.12, onde o lóbulo principal é representado pela seta **P**, assim como nas aplicações anteriores, e a relação entre os valores máximo e mínimo, RMM, da amplitude do diagrama de radiação na região com sinal garantido é mostrada em destaque, para diferenciar os testes A e E. O RMM igual a 66 advém da referência [5], no entanto, na situação E, optou-se por repetir o teste A, mas com um RMM de 46, por estar 3 dB acima do anterior, o que aumentaria a dificuldade do teste, já que o RMM procura aumentar o valor mínimo do diagrama e o RSSL procura reduzi-lo (Seção 4.3.4), complicando a otimização para o AG.

A escolha do ângulo de radiação ou inclinação,  $\theta_o$ , foi feita com base naquilo exposto na Seção 4.3.4 (extraído de [5]), ou seja, o lóbulo principal  $7^\circ$  abaixo da linha horizontal ( $\theta_o = 97^\circ$ , teste A) e nos valores extremos da faixa típica utilizada,  $3^\circ$  e  $15^\circ$  ( $\theta_o = 93^\circ$ , teste C, e  $\theta_o = 105^\circ$ , teste D). A menos de um caso muito particular, o ângulo mínimo da região com sinal garantido,  $\theta_{SINAL\_MIN}$ , deve ser igual ao ângulo de radiação ( $\theta_{SINAL\_MIN} = \theta_o$ ). Quanto ao ângulo máximo,  $\theta_{SINAL\_MAX}$ , na Seção 4.3.4, foi explicado que ocorre em  $175^\circ$ , pois ângulos maiores têm um RMM muito grande, devido a dificuldades em obter o valor do diagrama, que tende a zero ao chegar em  $180^\circ$  (único “nulo” admissível). Todavia, na prática, é possível optar por uma região menor sem “nulos”, por isso, no teste B, foi escolhido  $\theta_{SINAL\_MAX} = 135^\circ$ .



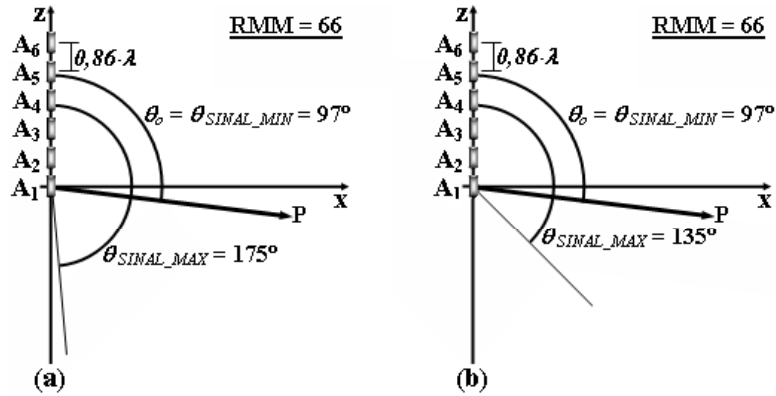


Figura 5.12 (a) e (b) – Direção do feixe, região de cobertura e RMM. (a) Teste A. (b) Teste B.

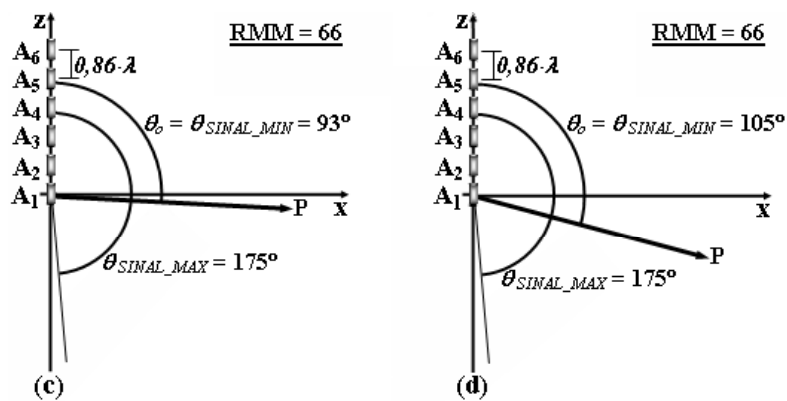


Figura 5.12 (c) e (d) – Direção do feixe, região de cobertura e RMM. (c) Teste C. (d) Teste D.

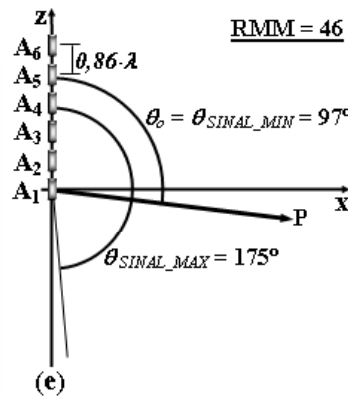


Figura 5.12 (e) – Direção do feixe, região de cobertura e RMM. (e) Teste E.

#### 5.4.4.2 - Resultados das Simulações

A Tabela 5.8 reúne um resumo dos resultados das simulações realizadas nos testes da Versão 3.1 da função O3AG, contendo o número de erros,  $NE_\theta$ , e o valor médio,  $\theta_{med}$ , do ângulo de radiação, os valores médio,  $RSL_{med}$ , e máximo,  $RSL_{max}$ , do RSL e o número de erros,  $NE_{RMM}$ , e os valores médio,  $RMM_{med}$ , e máximo,  $RMM_{max}$ , do RMM.

Como nas Tabelas 5.4 e 5.6, os valores médios desconsideram simulações com erros de apontamento, RSSL ou RMI. O critério de apontamento para considerar o valor calculado na simulação como correto novamente foi mantido, enquanto o RMM deve ser igual a 66 ou 46 (de acordo com o teste), com uma tolerância de  $\pm 5\%$ , e não é estabelecido um limite inferior para o RSSL, já que o ângulo de radiação e o RMM são críticos para a aplicação, devendo ser priorizados e dando flexibilidade ao valor de RSSL (Seção 4.3.4). As planilhas de resultados do Apêndice VII trazem informações mais detalhadas de cada teste.

Param. Teste	NE <sub>θ</sub> (%)	θ <sub>med</sub> (°)	RSSL <sub>med</sub> (dB)	RSSL <sub>max</sub> (dB)	NE <sub>RMM</sub> (%)	RMM <sub>med</sub> (dB)	RMM <sub>max</sub> (dB)
A	0	96,830	13,535	13,754	0	66,000	66,481
B	0	96,830	13,442	13,690	0	66,024	66,156
C	0	92,819	18,322	18,881	0	65,914	66,099
D	0	104,851	6,503	6,542	0	66,021	66,135
E	0	96,830	12,790	13,075	0	46,683	46,807

**Tabela 5.8** – Resumo dos resultados dos testes da terceira aplicação com a Versão 3.1.

Os testes apresentaram um resultado geral excelente, com todas as simulações convergindo apropriadamente e sem erros de apontamento, RSSL ou RMM. Como esperado, há um desvio mínimo entre os valores desejado e obtido para  $\theta_0$ , devido à resolução disponível no AG (Seção 5.4.2.2). O RSSL e o RMM têm uma diferença muito pequena entre a média e o máximo, demonstrando adequação e estabilidade nos resultados, tendo em vista as restrições rigorosas da aplicação, como o rígido direcionamento de lóbulo e a tolerância de apenas  $\pm 5\%$  para o RMM. Ademais, os valores calculados para o RSSL podem ser considerados razoáveis, já que se trata de um objetivo secundário e, ainda, conflitante para a otimização (Seção 4.3.4).

Em relação ao teste A, o teste B, com  $\theta_{SINAL\_MAX} = 135^\circ$ , não apresenta alterações significativas nos resultados, indicando que a redução da área com cobertura garantida, de  $175^\circ$  para  $135^\circ$ , não acarreta impacto sobre a aplicação. Já o teste C, com  $\theta_0 = 93^\circ$ , traz um aumento significativo no valor do RSSL médio, de 13,535 para 18,322 dB, pelo fato do ângulo de inclinação do lóbulo principal ser menor em  $4^\circ$  que no teste A, aproximando o diagrama da condição *broadside*, com menor deformação, e, conseqüentemente, proporcionando maior diretividade e RSSL.

Por outro lado, o teste D, com  $\theta_0 = 105^\circ$ , causa o efeito oposto, diminuindo o RSSL, de 13,535 para 6,503 dB, em média, se comparado ao teste A, devido ao ângulo de inclinação ser  $8^\circ$  maior. No teste E, a redução do RMM para 46 implica em crescimento da amplitude mínima do diagrama, impedindo um RSSL mais elevado, o que já era esperado, uma vez que são objetivos opostos, fazendo o RSSL médio reduzir de 13,535 para 12,790 dB, com respeito ao teste A. Nesse contexto, a precisão alcançada de apontamento e RMM, além do razoável RSSL, validam a eficácia da Versão 3.1 da função O3AG na otimização dos diagramas de radiação para a terceira aplicação. Na Tabela 5.9, estão contidos os valores dos níveis de amplitude,  $A_n$ , e fase progressiva de excitação,  $\beta$ , dos indivíduos de maior aptidão da população nas simulações com melhor resultado em cada teste executado.

Ind. Teste	[ $A_1$ $A_2$ $A_3$ $A_4$ $A_5$ $A_6$ ] (Adm)	$\beta$ ( $^\circ$ )
A	[0,265 0,316 0,324 0,320 0,191 0,307]	35,72
B	[0,384 0,371 0,455 0,435 0,338 0,418]	36,08
C	[0,205 0,290 0,392 0,270 0,176 0,143]	14,22
D	[0,416 0,291 0,284 0,079 0,353 0,409]	78,66
E	[0,120 0,080 0,118 0,282 0,238 0,230]	35,79

**Tabela 5.9** – Indivíduos de maior aptidão da população nas simulações com melhor resultado em cada teste executado para a Versão 3.1.

O AG buscou direcionar o lóbulo principal, aumentando  $\beta$  à medida que  $\theta_0$  cresce de  $93^\circ$  a  $105^\circ$ , com  $\beta$  controlando a direção do lóbulo principal (Seção 2.4.1). Quanto ao RMM, as simulações de cada teste contém inúmeras combinações de  $A_n$  que atendem às especificações para a aplicação ( $RMM = 66 \pm 5\%$  ou  $RMM = 46 \pm 5\%$ ), ressaltando o caráter altamente multimodal do problema. Sendo assim, o AG busca indiferentemente uma dessas combinações, desde que permita otimizar o apontamento e o RSSL.

Os diagramas de radiação otimizados pela função O3AG para as simulações da Tabela 5.9 são dados em forma cartesiana e no plano de elevação nas Figuras 5.13, com ganho adimensional (Adm), e 5.14, com ganho em decibéis (dB). Na Figura 5.13, nota-se a ausência de erros de apontamento, a menos do pequeno desvio da resolução do AG, e ressalta-se a deformação do diagrama à medida que o ângulo de inclinação avança para a direção *end-fire*, aumentando os lóbulos laterais e, assim, reduzindo o RSSL. Na Figura 5.14, focaliza-se a região com cobertura garantida ( $\theta_{SINAL\_MIN}$  até  $\theta_{SINAL\_MAX}$ ) com o ganho

em dB, o que destaca o RSSL e a “suavidade” no contorno do diagrama, sem “nulos” sob o lóbulo principal, garantindo a cobertura da região, pouco nítida na Figura 5.13.

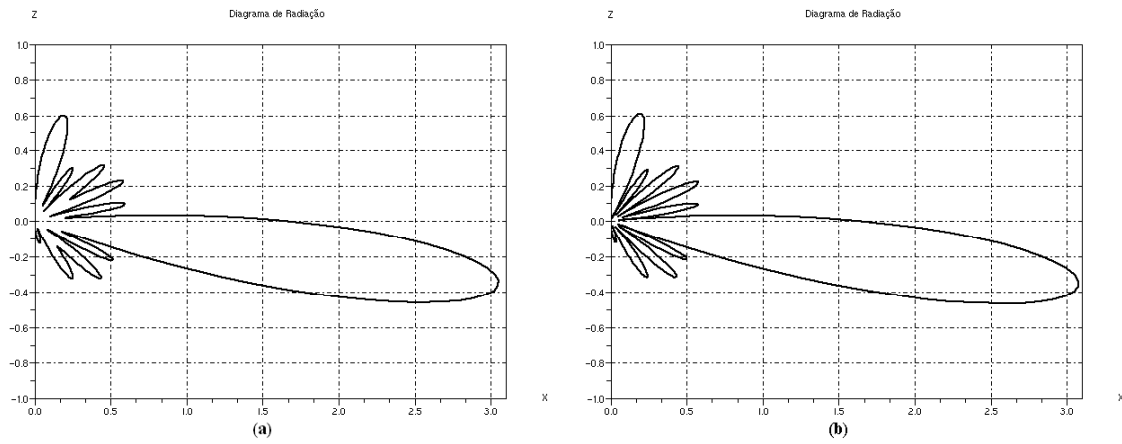


Figura 5.13 (a) e (b) – Diagrama cartesiano das simulações da Tabela 5.9, com ganho Adm. (a) Teste A. (b) Teste B.

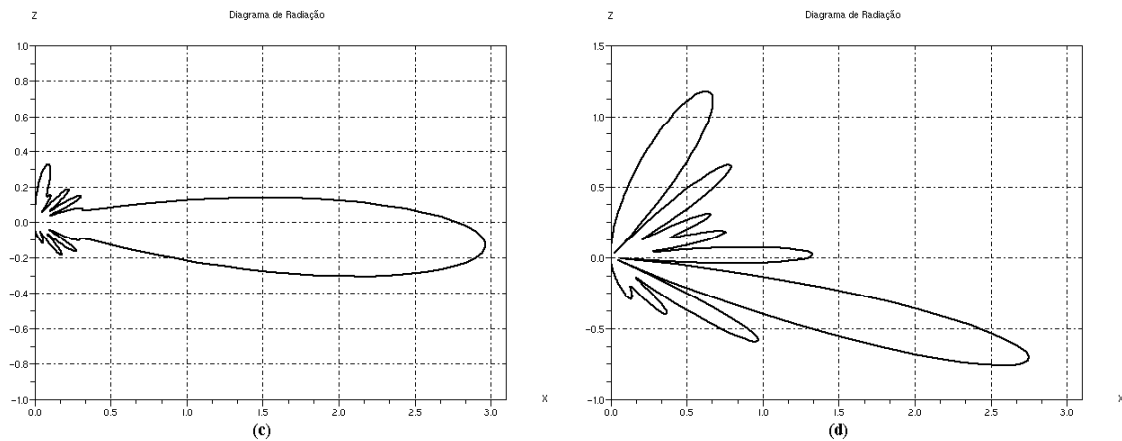


Figura 5.13 (c) e (d) – Diagrama cartesiano das simulações da Tabela 5.9, com ganho Adm. (c) Teste C. (d) Teste D.

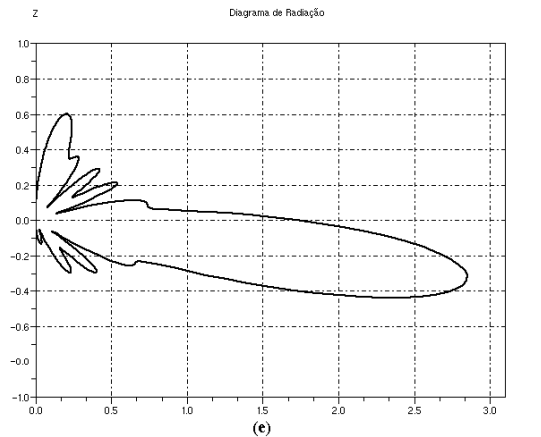


Figura 5.13 (e) – Diagrama cartesiano das simulações da Tabela 5.9, com ganho Adm. (e) Teste E.

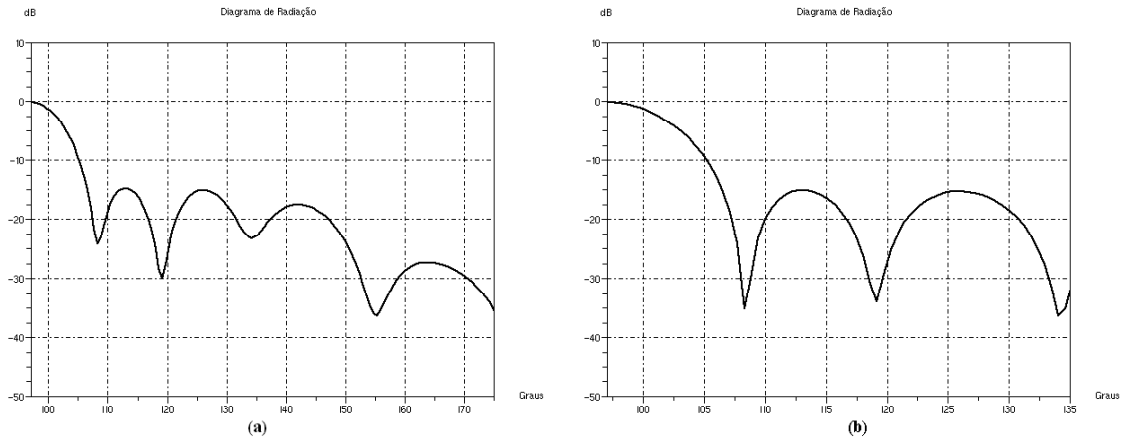


Figura 5.14 (a) e (b) – Diagrama cartesiano das simulações da Tabela 5.9, com ganho em dB. (a) Teste A. (b) Teste B.

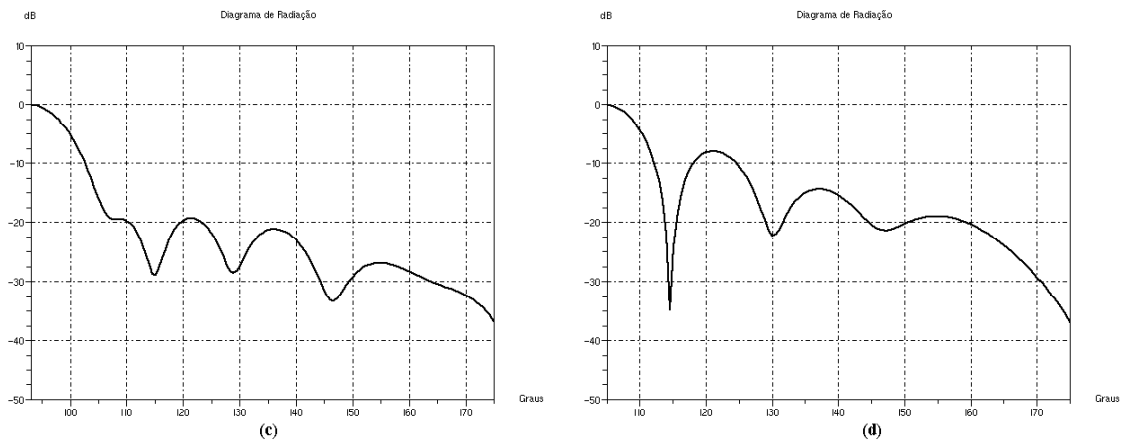


Figura 5.14 (c) e (d) – Diagrama cartesiano das simulações da Tabela 5.7, com ganho em dB. (c) Teste C. (d) Teste D.

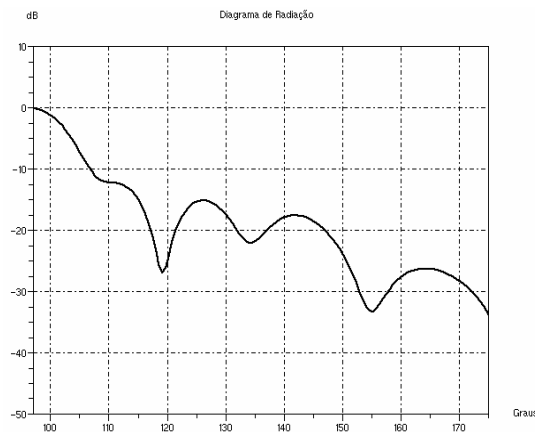
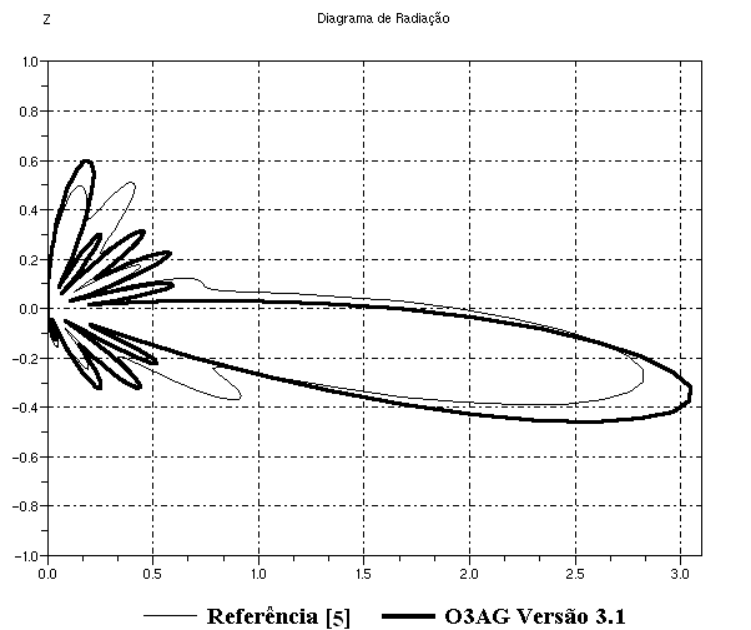


Figura 5.14 (e) – Diagrama cartesiano das simulações da Tabela 5.9, com ganho em dB. (e) Teste E.

Se comparados à [5], esses resultados comprovam a validade da otimização exercida pela ferramenta, pois, com a mesma configuração, o diagrama otimizado mantém o apontamento correto do feixe e a região sem “sombras”, porém, com maior alcance de cobertura, ou seja, mesma cobertura com menor potência irradiada. Assim, a diretividade aumenta de 2,81 (9,0 dBi), em [5], para 3,07 (9,74 dBi), na simulação com melhor resultado no Teste A, como ilustra a Figura 5.15. Tal aumento se deve à redução dos lóbulos laterais, o que foi possível por empregar um método de otimização de múltiplos objetivos, sobretudo, por alguns deles serem conflitantes (elevar o RSSL e fixar o RMM).



**Figura 5.15** – Comparação dos diagramas de radiação de [5] e da função O3AG Versão 3.1.

## 5.5 - Conclusões

Neste capítulo, estudou-se a ferramenta computacional O3AG – Otimização de Arranjos de Antenas com Algoritmos Genéticos, criada a partir da fundamentação teórica dos Capítulos 2 e 3 para otimizar as três situações das aplicações propostas no Capítulo 4. O ambiente computacional escolhido para elaborar a ferramenta e a forma como ela foi idealizada, em fases e etapas, foram explicados, contextualizando onde se insere este trabalho. Outrossim, tratou-se da estrutura da ferramenta e dos testes para a sua validação nesta etapa de desenvolvimento, apresentando simulações das aplicações em variadas situações. Destarte, foram realizadas análises dos resultados das simulações, inclusive comparando às referências bibliográficas, atestando a validade da ferramenta.

## **Capítulo 6 - Conclusões**

O algoritmo elaborado permitiu otimizar o controle da alimentação de um arranjo linear, conforme demonstraram os resultados dos testes, que possibilitaram ajustes de parâmetros do algoritmo e validar sua eficácia, através da solução de aplicações propostas e de comparações com as referências bibliográficas. Assim, a ferramenta computacional O3AG – Otimização de Arranjos de Antenas com Algoritmos Genéticos, idealizada para auxiliar o projeto de arranjos de antenas, teve sua estrutura planejada em fases e etapas e o desenvolvimento da primeira e principal dessas etapas foi realizado, testado e aprovado.

Nessa conjuntura, a escolha do arranjo linear se mostrou acertada, sobretudo, por ter o controle do diagrama de radiação apenas em elevação, o que diminuiu a complexidade do cálculo do máximo lóbulo lateral. Da mesma forma, a consideração de radiadores isotrópicos na fase inicial foi importante, pois têm formulação mais concisa e possuem menor diretividade, exigindo mais do algoritmo, além de facilitarem a comparação com outros trabalhos. Quanto ao uso de codificação real, foram confirmadas as vantagens anunciadas nas referências bibliográficas, ao passo que a forma implantada, inspirada na estrutura física do próprio arranjo de antenas, foi extremamente criativa, facilitando os processos subseqüentes do algoritmo e reduzindo o tempo de processamento.

Aliada a isso, a elaboração do operador genético recombinação máximo-mínimo, fazendo o emparelhamento entre indivíduos mais e menos aptos da população, é uma contribuição deste trabalho, pois trouxe uma abordagem distinta do caso tradicional. Ela propiciou uma melhor otimização nos vastos espaços de busca dos problemas estudados (da ordem de  $10^{20}$  possibilidades), evitando a convergência prematura para ótimos locais, aumentando a aptidão média da população em mais de 20% (sobre dez simulações), e reduzindo a taxa de mutação, o que, devido à atuação determinística dos operadores genéticos, se refletiu numa significativa redução do tempo de processamento.

Apesar dessa redução, o tempo para a execução do algoritmo ainda foi considerado alto, devido à opção pelo software Scilab. Todavia, o uso do Scilab como ambiente computacional nesta fase preliminar da ferramenta O3AG bastou, já que é um ambiente

matemático fácil de usar, contém inúmeras funções algébricas, estatísticas, de banco de dados e gráficas (bastante usadas na ferramenta) e sua programação ocorre através de funções em arquivos de texto (*scripts*), com instruções em linguagem estruturada, sendo completamente portáteis entre diferentes hardwares e sistemas operacionais, o que agilizou sobremaneira os testes feitos. Além disso, com a distribuição gratuita do Scilab, os programas desenvolvidos e os resultados obtidos podem ser divulgados sem restrições.

Com respeito às aplicações propostas, a primeira foi posicionar o feixe e reduzir radiações indesejáveis, sendo feitas simulações para os principais ângulos de radiação. Todas convergiram de modo estável e reproduzível, sem erros de apontamento e com alto RSSL, que teve só 20% de erros no pior caso (próximo à condição *end-fire*), o que atende às condições de operação em mais de 70% das simulações, critério adotado para validar os testes. Por outro lado, os resultados dos testes mostraram um RSSL máximo, para o ângulo de radiação de 90°, superior a 37 dB, na Versão 1.0 da ferramenta, e de 34,6 dB, na Versão 1.1, que é mais geral, valores comparáveis ou até superiores àqueles das referências bibliográficas. Ressalta-se que cada teste usou apenas oito níveis de amplitude e realizou 10 simulações, enquanto alguns trabalhos publicados usam até 256 níveis e a maioria não informa valores médios ou em quantas simulações o melhor resultado foi conseguido.

A segunda aplicação constou em rejeitar interferências com direções de chegada conhecidas e os ângulos usados nas simulações cobriram situações extremas de operação. Os resultados foram satisfatórios e todas as 120 simulações convergiram adequadamente, com elevado RMI, um número de erros de RSSL máximo de 20% (novamente, próximo à condição *end-fire*) e só um erro de apontamento, atendendo às condições de operação em mais de 70% das simulações, o que validou os testes. Verificou-se que o controle é inviável em duas situações e restrito em uma, pois a posição do feixe deforma o diagrama e impede direcionar “nulos” próximos. Trabalhos [16-17] com exemplos semelhantes à aplicação registram dificuldades para obter valores 40 dB abaixo do máximo e têm valores de “nulos” comparáveis, ou até inferiores, àqueles gerados pela ferramenta O3AG Versão 2.1, a qual tem “nulos” 50 dB (até 76,9 dB, em alguns casos) abaixo do máximo, em 10 simulações para cada teste, provando que os resultados são reproduzíveis e estáveis.

Na terceira aplicação, realizou-se a supressão de regiões sem cobertura, com RMM igual a 66 (de [5]) ou 46 (3 dB acima), para valores típicos do ângulo de inclinação. O



resultado geral foi excelente, com todas as simulações convergindo de forma adequada e estável, sem erros de apontamento, RSSL ou RMM. Os testes indicaram que a redução da área com cobertura garantida não acarreta impacto significativo, mas o aumento da inclinação (*tilt* elétrico) faz cair a diretividade e, assim, o RSSL médio de 18,322 dB, em 3°, para 6,503 dB, em 15°, devido à maior deformação do diagrama próximo à condição *end-fire*. Já a redução do RMM de 66 para 46 implica num RSSL médio menor, de 13,535 para 12,790 dB, em 7°, pois são objetivos opostos. Com isso, a precisão alcançada de apontamento e RMM e os razoáveis valores de RSSL validaram a eficácia da Versão 3.1 da função O3AG, que, se comparada à [5], produz um aumento sensível da diretividade, de 9,0 para 9,74 dBi, já que diminui os lóbulos laterais, dando maior alcance de cobertura.

Destarte, com o sucesso da primeira etapa de desenvolvimento da ferramenta O3AG, a primeira proposta de continuidade deste trabalho é seguir com as demais etapas e fases concebidas. Assim sendo, a ferramenta pode ser adaptada para englobar arranjos nas formas planar, circular e 3D, entre outras, e otimizar a distância entre os elementos radiadores. Além disso, é possível decompor blocos comuns da ferramenta em módulos, executados por pequenas funções reunidas num *toolbox* do Scilab e, em seguida, criar um aplicativo contendo todas essas funções num único programa executável.

Outra proposta é testar faixas mais amplas e com resolução (passo de incremento) menor para os parâmetros do algoritmo genético desenvolvido, tais como o tamanho da população, as taxas de recombinação e mutação ou o número de gerações para término. Isso porque os valores usados foram baseados nas referências bibliográficas ou em testes feitos dentro do contexto de tempo e recursos disponíveis para este trabalho, tendo de averiguar inúmeras possibilidades com pouca ou nenhuma referência para comparações.

Mais uma possível continuidade é melhorar o cálculo da aptidão dos indivíduos. Isso pode ser feito por novas maneiras de determinar o máximo lóbulo lateral, o qual foi difícil de implementar e consome grande parte do tempo de processamento. Outra forma é alterar a formulação da própria função objetivo, transformando o fator de arranjo da forma exponencial para um produto de raízes de polinômio [9, 16-17] ou a implementando em estágios, de acordo com os objetivos incluídos na função [17].

Além disso, sugere-se incluir novos objetivos de otimização, como controlar a largura de feixe e a potência fornecida ao arranjo; considerar o acoplamento mútuo entre os elementos do arranjo; mudar a codificação dos cromossomos, para permitir fases independentes de excitação, ao invés de progressivas; hibridizar o algoritmo com métodos determinísticos, para realizar uma busca local; ou usar uma combinação com o método de ótimos de Pareto [16].

Nesse ponto, é importante frisar que, apesar do uso de algoritmos genéticos ter se mostrado eficaz para otimizar diagramas de radiação de arranjos de antenas, oferecendo um desempenho encorajador para evoluções futuras, esse método probabilístico de otimização é indicado para problemas pouco conhecidos e contendo não-linearidade, ruído, descontinuidade, inexistência de derivadas, multimodalidade, vários objetivos de otimização ou vastos espaços de busca, de modo que os métodos determinísticos convencionais não sejam recomendáveis, a menos de uma busca local.

Por fim, conclui-se que o objetivo inicial de otimizar o controle eletrônico do diagrama de radiação de arranjos de antenas usando algoritmos genéticos com codificação real foi alcançado, uma vez que, a partir da sólida fundamentação teórica adquirida e apresentada, foi possível elencar os procedimentos necessários para criar uma ferramenta de otimização para as aplicações propostas, elaborando e validando sua etapa principal de desenvolvimento, através de testes para verificar a performance dos resultados, a viabilidade computacional e prática e alternativas de aprimoramentos futuros.

## Referências Bibliográficas

- [1] C. A. Balanis, *Antenna Theory – Analysis and Design*. New York, NY, USA: Harper & Row, Publishers, 1982.
- [2] S. C. C. Costa, A. M. Araújo, D. B. Ferrete e G. P. S. Cavalcante (2005, Dezembro). *ANTENAS – Ambiente Computacional para Análise e Projeto de Antenas*, Universidade Federal do Pará, Belém, PA, Brasil. Disponível: [www.ufpa.br/dee/lea](http://www.ufpa.br/dee/lea).
- [3] A. C. C. Lima, “Fundamentos de Telecomunicações – Teoria Eletromagnética e Aplicações,” Universidade Federal da Bahia, Salvador, BA, Brasil, 2002.
- [4] V. R. Mognon, W. A. Artuzi Jr. and J. R. Descardecí, “Tilt Angle and Side-Lobe Level Control of Array Antennas by Using Genetic Algorithm,” *Proc. 2001 IEEE SBMO/IEEE MTT-S IMOC*, Belém, PA, Brazil, Aug. 2001, pp. 299-301.
- [5] K. A. Siwiak, *Radiowave Propagation and Antennas for Personal Communications*. Norwood, MA, USA: Artech House Inc, 1995.
- [6] S. L. Lopes, “Algoritmos Genéticos em Projetos de Engenharia: Aplicações e Perspectivas Futuras,” *Anais do IV Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente*, São Paulo, SP, Brasil, Set. 1999, pp. 01-11.
- [7] J. Tanomaru, “Motivação, Fundamentos e Aplicações de Algoritmos Genéticos,” *Anais do II Congresso Brasileiro de Redes Neurais*, Curitiba, PR, Brasil, Out. 1995.
- [8] M. Melanie, *An Introduction to Genetic Algorithms*. Cambridge, MA, USA: Massachusetts Institute of Technology – MIT Press, 1999.
- [9] R. L. Haupt and S. E. Haupt, *Practical Genetic Algorithms*. Hoboken, NJ, USA: Wiley-Interscience, 2004.

- [10] K. F. Man, K. S. Tang and S. Kwong, "Genetic Algorithms: Concepts and Applications," *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, vol. 43, no. 43, pp. 519-534, Oct. 1996.
- [11] D. S. Weile and E. Michielssen, "Genetic Algorithm Optimization Applied to Electromagnetics: A Review," *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, vol. 45, no. 3, pp. 343-353, Mar. 1997.
- [12] J. M. Johnson and Y. Rahmat-Samii, "Genetic Algorithm in Engineering Electromagnetics," *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol. 39, no. 4, Aug. 1997, pp. 7-21.
- [13] R. M. Ramos, R. R. Saldanha, R. H. C. Takahashi and F. J. S. Moreira, "The Real-Biased Multiobjective Genetic Algorithm and Its Application to the Design of Wire Antennas," *IEEE Trans. on Magnetics*, vol. 39, no. 3, pp. 1329-1332, May 2003.
- [14] Y. H. Lee, A. C. Marvin and S. J. Porter, "Genetic Algorithm Using Real Parameters For Array Antenna Design Optimization," *1999 IEEE High Frequency Postgraduate Student Colloquium*, University of Leeds, UK, Sep. 1999, pp. 8-13.
- [15] D. Marcano, L. Gómez and O. Sosa, "Planar Array Antenna Synthesis Using Genetic Algorithms with a Penalty Function," *Proc. 1997 IEEE SBMO/IEEE MTT-S IMOC*, Natal, RN, Brazil, Aug. 1997, pp. 285-290.
- [16] D. Marcano and F. Duran, "Synthesis of Array Antenna Using Genetic Algorithms," *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol. 42, no. 3, June 2000, pp. 12-20.
- [17] R. J. Mitchell, B. Chambers and A. P. Anderson, "Array Pattern Control in the Complex Plane Optimised by a Genetic Algorithm," *1997 IEE 10th International Conference on Antennas and Propagation*, University of Sheffield, UK, April 1997, pp. 1.330-1.333.

- [18] K. Yan and Y. Lu, "Sidelobe Reduction in Array-Pattern Synthesis Using Genetic Algorithm," *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, vol. 45, no. 7, pp. 1117-1122, July 1997.
- [19] M. G. Bray, D. H. Werner, D. W. Boeringer and D. W. Machuga, "Optimization of Thinned Aperiodic Linear Phased Arrays Using Genetic Algorithms to Reduce Grating Lobes During Scanning," *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, vol. 50, no. 12, pp. 1732-1742, Dec. 2002.
- [20] D. W. Boeringer and D. H. Werner, "Adaptive Mutation Parameter Toggling Genetic Algorithm for Phase-Only Array Synthesis," *2002 IEE Electronics Letters*, vol. 38, no. 25, Dec. 2002, pp. 1618-1619.
- [21] R. L. Haupt, "Optimum Population Size and Mutation Rate for a Simple Real Genetic Algorithm that Optimizes Array Factors," *2000 IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, vol. 2, July 2000, pp. 1034-1037.
- [22] Y. Liu, A. Liu, Y. Pang and R. Wu, "Modeling Antenna Array Elements and Bandwidth Enhanced by Genetic Algorithm," *2003 IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, vol. 2, June 2003, pp. 884-887.
- [23] C. R. Houck, J. A. Joines and M. G. Kay, "A Genetic Algorithm for Function Optimization: A Matlab Implementation. Raleigh," North Carolina State University, NC, USA, NCSU-IE TR 95-09, pp. 1-14, 1995.
- [24] A. Vale, N. Antunes e A. Rosa, "Algoritmos Genéticos na Procura de Raízes de Funções," *Actas do 4º Encontro do Colégio de Engenharia Electrotécnica*, Lisboa, Portugal, 1999, pp. 21-26.
- [25] C. L. Dolph, "A Current Distribution for Broadside Arrays Which Optimizes the Relationship Between Beamwidth and Side-Lobe Level," *Proc. IRE and Waves and Electrons*, vol. 34, no. 3, June 1946, pp. 335-348.

- [26] J. C. Liberti Jr. and T. S. Rappaport, *Smart Antennas for Wireless Communications*. New York, NY, USA: Prentice Hall, 1999.
- [27] K. I. Kim, “CDMA Cellular Engineering Issues,” *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, vol. 42, no. 3, pp. 345-350, Aug. 1993.
- [28] *Scilab – A Free Scientific Software Package*, Institut de Recherche en Informatique et en Automatique - INRIA et École Nationale des Ponts et Chaussées - ENPC, France, Dec. 2005. Available: [www.scilab.org](http://www.scilab.org).
- [29] J. Ph. Chancelier, “Scilab: Une Introduction,” École Nationale des Ponts et Chaussées – ENPC, France, Août 2004.
- [30] P. Motta, “Introdução ao Scilab,” Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, Brasil, Nov. 2001.
- [31] B. Pinçon, “Une Introduction à Scilab,” Université H. Poincaré, Nancy, France, 2000.
- [32] L. W. T. Silva, A. R. S. Maçêdo, E. Cruz, P. C. Anjos, *Mercado por Centro de Carga*, Companhia Energética do Rio Grande do Norte, Natal, RN, Brasil, Nov. 2001.

## Apêndice I - Descrição das Planilhas dos Testes

Os Apêndices II a VII contêm planilhas com os parâmetros usados e os dados obtidos nos testes, ratificando que cada teste pode ter até 10 simulações. Tais parâmetros e dados são descritos a seguir, de acordo com o nome do seu respectivo campo de preenchimento na planilha.

- a) *Versão*: Informa a versão da função O3AG usada no teste.
- b) *Teste*: Informa a identificação do teste, com a letra indicando a posição na seqüência dos testes para a versão da função O3AG, seguida do tipo parâmetro testado.
- c) *Arquivo*: Informa o nome do arquivo onde os resultados do teste foram gravados.
- d) *Data*: Informa a data em que o teste foi realizado.
- e) *Tipo de Antenas*: Informa o tipo de antenas usado no teste.
- f) *Nº de Elem.*: Informa o número total de elementos dispostos no eixo Z, 2M, para o arranjo testado.
- g) *Espaçam.*: Informa o espaçamento, em comprimentos de onda,  $\lambda$ , entre os elementos do arranjo testado.
- h) *Teta<sub>o</sub>* (°): Informa o ângulo desejado para o lóbulo principal de radiação, em graus,  $\theta_o$ .
- i) *Teta<sub>i1/min</sub>* (°): Informa o ângulo de chegada do sinal interferente 1, em graus,  $\theta_{i1}$ , se testando as versões 2.0 e 2.1 da função O3AG; ou informa o ângulo mínimo da região com sinal garantido, em graus,  $\theta_{MIN}$ , se testando as versões 3.0 e 3.1.

- j)  $Teta_{i2/máx}$  (°): Informa o ângulo de chegada do sinal interferente 2, em graus,  $\theta_{i2}$ , se testando a versão 2.1 da função O3AG; ou informa o ângulo máximo da região com sinal garantido, em graus,  $\theta_{MAX}$ , se testando as versões 3.0 e 3.1.
- k)  $RSL_L$  (dB): Informa o valor mínimo admissível para a relação das amplitudes dos lóbulos principal e maior secundário, em dB,  $RSL_L$ .
- l)  $RMI_{min}$  (dB) |  $RMM$  (Adm): Informa o valor mínimo admissível para a relação entre os valores de amplitude do diagrama de radiação para os ângulos dos sinais desejado e interferente, em dB,  $RMI_{min}$ , se testando as versões 2.0 e 2.1 da função O3AG (para a versão 2.0 só há o sinal interferente 1, sendo esse o mínimo, mas na versão 2.1 existem dois sinais interferentes, de maneira que é considerado o pior caso, ou seja, a mínima relação obtida entre o sinal máximo e as interferências); ou informa o valor desejado para a relação entre os valores máximo e mínimo da amplitude do diagrama de radiação na região com sinal garantido, adimensional,  $RMM$ , se testando as versões 3.0 e 3.1.
- m)  $Tam. Pop.$ : Informa o tamanho da população do AG usado no teste.
- n)  $Recomb.$ : Informa a taxa de recombinação do AG usado no teste.
- o)  $Mutação$ : Informa a taxa de mutação do AG usado no teste.
- p)  $Fator de Dilatação$ : Informa o fator de dilatação,  $K_P$ , para a função objetivo do AG usado no teste.
- q)  $Simulação N^\circ$ : Informa o número da simulação dentro da seqüência de simulações realizadas no teste.
- r)  $Teta$  (°): Informa o valor obtido para o ângulo do lóbulo principal de radiação, em graus,  $\theta$ , na simulação realizada.
- s)  $Beta$  (°): Informa o valor obtido para fase progressiva de excitação, em graus,  $\beta$ , na simulação realizada.



- t) *RSSL (dB)*: Informa o valor obtido, em dB, para o RSSL na simulação realizada.
- u) *RMI<sub>min</sub> | RMM (dB | Adm)*: Informa o valor obtido, em dB, para o RMI<sub>min</sub>, na simulação realizada, se testando as versões 2.0 e 2.1 da função O3AG (para a versão 2.0 só há o sinal interferente 1, sendo esse o mínimo, mas na versão 2.1 existem dois sinais interferentes, de maneira que é considerado o pior caso, ou seja, a mínima relação obtida entre o sinal máximo e as interferências); ou informa o valor obtido, adimensional, para o RMM, na simulação realizada, se testando as versões 3.0 e 3.1.
- v) *Aptidão (Adm)*: Informa a aptidão do melhor indivíduo obtido na simulação realizada.
- w) *Converg. (Gerações)*: Informa o número de gerações para o AG convergir na simulação realizada.
- x) *Tempo (minutos)*: Informa o tempo, em minutos, para concluir a simulação.
- y) *CPU – Clock (GHz)*: Informa o tipo e o clock do processador usado na simulação.
- z) *Mínimo*: Informa o valor mínimo de cada coluna para os dados obtidos em todas as simulações.
- aa) *Máximo*: Informa o valor máximo de cada coluna para os dados obtidos em todas as simulações.
- bb) *Média<sub>Sem Erros</sub>*: Informa o valor da média de cada coluna para os dados obtidos nas simulações sem erro, ou seja, naquelas simulações que as condições de Teta<sub>o</sub>, RSSL e RMI<sub>min</sub> | RMM (quando houver) forem atendidas.
- cc) *Comentário*: Informa comentários de aspectos importantes observados nos resultados do teste, sobretudo, comparando-o com testes anteriores para indicar se os parâmetros usados estão adequados e, senão, quais os novos valores que serão empregados.

## Apêndice II - Testes da Função O3AG Versão 1.0

Otimização de Arranjos de Antenas com Algoritmos Genéticos - O3AG							Versão:	1.0
Teste:	A - Taxas de Recombinação e Mutação			Arquivo:	o3ag_v1.0.sci		Data:	18/11/05
Tipo de Antenas:	Isotrópica	Nº de Elem.:	40	Espaçam.:	$\lambda / 4$	Teta <sub>o</sub> (°) =	90,000	
Teta <sub>1</sub> min (°) =	-	Teta <sub>2</sub> max (°) =	-	RSL (dB) >=	30,000	RMI <sub>min</sub> (dB) >=   RMM (Adm) =	-	
Tam. Pop. =	100	Recomb. =	70,00%	Mutação =	1,00%	Fator de Dilatação =	0,05	
Simulação N°	Teta (°)	Beta (°)	RSL (dB)	RMI <sub>min</sub>   RMM (dB   Adm)	Aptidão (Adm)	Converg. (Gerações)	Tempo (minutos)	CPU - Clock (GHz)
01	89,954	-0,088	29,440	-	29,644528	139	43,398	P4 - 2.8
02	89,954	0,000	31,896	-	39,331153	136	43,425	P4 - 2.8
03	89,381	-0,573	28,145	-	25,062126	173	43,448	P4 - 2.8
04	89,954	-179,909	28,767	-	27,433759	31	43,447	P4 - 2.8
05	90,527	0,569	30,280	-	32,209627	33	43,412	P4 - 2.8
06								
07								
08								
09								
10								
<b>Mínimo</b>	<b>89,381</b>	<b>-179,909</b>	<b>28,145</b>	<b>-</b>	<b>25,062126</b>	<b>31</b>	<b>43,398</b>	<b>-</b>
<b>Máximo</b>	<b>90,527</b>	<b>0,569</b>	<b>31,896</b>	<b>-</b>	<b>39,331153</b>	<b>173</b>	<b>43,448</b>	<b>-</b>
<b>Média<sub>Sem Erros</sub></b>	<b>89,954</b>	<b>-</b>	<b>31,896</b>	<b>-</b>	<b>39,331153</b>	<b>136</b>	<b>43,425</b>	<b>-</b>
<b>Comentário:</b>	O teste das taxas de recombinação e mutação apresenta não-conformidades nos resultados, devido a erros de apontamento e baixos valores de RSL. Sugere-se aumentar a taxa de mutação, para pesquisar mais o espaço de busca e/ou sair de ótimos locais.							

Otimização de Arranjos de Antenas com Algoritmos Genéticos - O3AG							Versão:	1.0
Teste:	B - Taxas de Recombinação e Mutação			Arquivo:	o3ag_v1.0.sci		Data:	18/11/05
Tipo de Antenas:	Isotrópica	Nº de Elem.:	40	Espaçam.:	$\lambda / 4$	Teta <sub>o</sub> (°) =	90,000	
Teta <sub>1</sub> min (°) =	-	Teta <sub>2</sub> max (°) =	-	RSL (dB) >=	30,000	RMI <sub>min</sub> (dB) >=   RMM (Adm) =	-	
Tam. Pop. =	100	Recomb. =	70,00%	Mutação =	15,00%	Fator de Dilatação =	0,05	
Simulação N°	Teta (°)	Beta (°)	RSL (dB)	RMI <sub>min</sub>   RMM (dB   Adm)	Aptidão (Adm)	Converg. (Gerações)	Tempo (minutos)	CPU - Clock (GHz)
01	89,954	-0,229	31,353	-	36,947213	182	51,821	P4 - 2.8
02	94,100	-179,336	34,357	-	49,242227	75	51,849	P4 - 2.8
03	94,100	-178,945	29,479	-	28,083466	40	51,920	P4 - 2.8
04	90,527	0,347	32,481	-	41,498388	49	51,793	P4 - 2.8
05	89,954	179,909	26,015	-	19,984585	33	51,720	P4 - 2.8
06								
07								
08								
09								
10								
<b>Mínimo</b>	<b>89,954</b>	<b>-179,336</b>	<b>26,015</b>	<b>-</b>	<b>19,984585</b>	<b>33</b>	<b>51,720</b>	<b>-</b>
<b>Máximo</b>	<b>94,100</b>	<b>179,909</b>	<b>34,357</b>	<b>-</b>	<b>49,242227</b>	<b>182</b>	<b>51,920</b>	<b>-</b>
<b>Média<sub>Sem Erros</sub></b>	<b>89,954</b>	<b>-</b>	<b>31,353</b>	<b>-</b>	<b>36,947213</b>	<b>182</b>	<b>51,821</b>	<b>-</b>
<b>Comentário:</b>	O teste das taxas de recombinação e mutação apresenta não-conformidades nos resultados, devido a erros de apontamento e baixos valores de RSL. Sugere-se aumentar novamente a taxa de mutação, para pesquisar mais o espaço de busca e/ou sair de ótimos locais.							

Otimização de Arranjos de Antenas com Algoritmos Genéticos - O3AG							Versão:	1.0
Teste:	C - Taxas de Recombinação e Mutação		Arquivo:	o3ag_v1.0.sci		Data:	18/11/05	
Tipo de Antenas:	Isotrópica	Nº de Elem.:	40	Espaçam.:	$\lambda / 4$	Teta <sub>0</sub> (°) =	90,000	
Teta <sub>1 1min</sub> (°) =	-	Teta <sub>2 2máx</sub> (°) =	-	RSL (dB) >=	30,000	RMI <sub>min</sub> (dB) >=   RMM (Adm) =	-	
Tam. Pop. =	100	Recomb. =	70,00%	Mutação =	30,00%	Fator de Dilatação =	0,05	
Simulação Nº	Teta (°)	Beta (°)	RSL (dB)	RMI <sub>min</sub>   RMM (dB   Adm)	Aptidão (Adm)	Converg. (Gerações)	Tempo (minutos)	CPU - Clock (GHz)
01	89,954	0,026	30,605	-	33,898980	129	60,919	P4 - 2.8
02	89,954	-0,105	26,262	-	20,561059	194	60,834	P4 - 2.8
03	89,954	-179,909	28,778	-	27,470309	193	60,906	P4 - 2.8
04	89,954	-0,059	31,538	-	37,742571	199	60,934	P4 - 2.8
05	91,100	0,778	29,496	-	27,845391	197	60,855	P4 - 2.8
06								
07								
08								
09								
10								
<b>Mínimo</b>	<b>89,954</b>	<b>-179,909</b>	<b>26,262</b>	<b>-</b>	<b>20,561059</b>	<b>129</b>	<b>60,834</b>	<b>-</b>
<b>Máximo</b>	<b>91,100</b>	<b>0,778</b>	<b>31,538</b>	<b>-</b>	<b>37,742571</b>	<b>199</b>	<b>60,934</b>	<b>-</b>
<b>Média<sub>Sem Erros</sub></b>	<b>89,954</b>	<b>-</b>	<b>31,071</b>	<b>-</b>	<b>35,820776</b>	<b>164</b>	<b>60,927</b>	<b>-</b>
<b>Comentário:</b>	O teste das taxas de recombinação e mutação apresenta não-conformidades nos resultados, devido a um erro de apontamento e baixos valores de RSL. Após o aumento progressivo da taxa de mutação, desde o teste A, não foi obtida grande melhoria nos resultados. Assim, sugere-se diminuir à metade a taxa de recombinação e retornar para a taxa de mutação proposta inicialmente, isto é, 1% (teste A). Observa-se que o teste C não usou elitismo, pois, substituiu 100% (70% + 30%) da população anterior, de modo que, muitas vezes, perdeu os indivíduos mais aptos e não convergiu no número máximo de soluções permitido (200).							

Otimização de Arranjos de Antenas com Algoritmos Genéticos - O3AG							Versão:	1.0
Teste:	D - Taxas de Recombinação e Mutação		Arquivo:	o3ag_v1.0.sci		Data:	18/11/05	
Tipo de Antenas:	Isotrópica	Nº de Elem.:	40	Espaçam.:	$\lambda / 4$	Teta <sub>0</sub> (°) =	90,000	
Teta <sub>1 1min</sub> (°) =	-	Teta <sub>2 2máx</sub> (°) =	-	RSL (dB) >=	30,000	RMI <sub>min</sub> (dB) >=   RMM (Adm) =	-	
Tam. Pop. =	100	Recomb. =	35,00%	Mutação =	1,00%	Fator de Dilatação =	0,05	
Simulação Nº	Teta (°)	Beta (°)	RSL (dB)	RMI <sub>min</sub>   RMM (dB   Adm)	Aptidão (Adm)	Converg. (Gerações)	Tempo (minutos)	CPU - Clock (GHz)
01	89,954	0,000	31,603	-	38,029976	103	22,242	P4 - 2.8
02	89,954	-0,215	28,799	-	27,536473	79	22,241	P4 - 2.8
03	89,381	-0,477	32,593	-	41,821334	134	22,252	P4 - 2.8
04	89,381	-0,404	25,226	-	17,908457	125	22,238	P4 - 2.8
05	89,381	-0,506	29,430	-	29,057745	94	22,244	P4 - 2.8
06								
07								
08								
09								
10								
<b>Mínimo</b>	<b>89,381</b>	<b>-0,506</b>	<b>25,226</b>	<b>-</b>	<b>17,908457</b>	<b>79</b>	<b>22,238</b>	<b>-</b>
<b>Máximo</b>	<b>89,954</b>	<b>0,000</b>	<b>32,593</b>	<b>-</b>	<b>41,821334</b>	<b>134</b>	<b>22,252</b>	<b>-</b>
<b>Média<sub>Sem Erros</sub></b>	<b>89,954</b>	<b>-</b>	<b>31,603</b>	<b>-</b>	<b>38,029976</b>	<b>103</b>	<b>22,242</b>	<b>-</b>
<b>Comentário:</b>	O teste das taxas de recombinação e mutação apresenta não-conformidades nos resultados, devido a erros de apontamento e baixos valores de RSL. Sugere-se aumentar a taxa de mutação, para pesquisar mais o espaço de busca e/ou sair de ótimos locais.							

Otimização de Arranjos de Antenas com Algoritmos Genéticos - O3AG							Versão:	1.0
Teste:	E - Taxas de Recombinação e Mutação		Arquivo:	o3ag_v1.0.sci		Data:	18/11/05	
Tipo de Antenas:	Isotrópica	Nº de Elem.:	40	Espaçam.:	$\lambda / 4$	Teta <sub>0</sub> (°) =	90,000	
Teta <sub>1 1min</sub> (°) =	-	Teta <sub>2 2máx</sub> (°) =	-	RSL (dB) >=	30,000	RMI <sub>min</sub> (dB) >=   RMM (Adm) =	-	
Tam. Pop. =	100	Recomb. =	35,00%	Mutação =	15,00%	Fator de Dilatação =	0,05	
Simulação Nº	Teta (°)	Beta (°)	RSL (dB)	RMI <sub>min</sub>   RMM (dB   Adm)	Aptidão (Adm)	Converg. (Gerações)	Tempo (minutos)	CPU - Clock (GHz)
01	89,381	179,336	28,322	-	25,578922	42	30,717	P4 - 2.8
02	89,954	-0,186	29,390	-	29,474064	63	30,694	P4 - 2.8
03	89,954	0,151	34,574	-	53,537249	106	30,772	P4 - 2.8
04	90,527	0,521	30,457	-	32,875863	127	30,699	P4 - 2.8
05	89,954	-0,238	28,774	-	27,457112	200	30,696	P4 - 2.8
06								
07								
08								
09								
10								
<b>Mínimo</b>	<b>89,381</b>	<b>-0,238</b>	<b>28,322</b>	<b>-</b>	<b>25,578922</b>	<b>42</b>	<b>30,694</b>	<b>-</b>
<b>Máximo</b>	<b>90,527</b>	<b>179,336</b>	<b>34,574</b>	<b>-</b>	<b>53,537249</b>	<b>200</b>	<b>30,772</b>	<b>-</b>
<b>Média<sub>Sem Erros</sub></b>	<b>89,954</b>	<b>-</b>	<b>34,574</b>	<b>-</b>	<b>53,537249</b>	<b>106</b>	<b>30,772</b>	<b>-</b>
<b>Comentário:</b>	O teste das taxas de recombinação e mutação apresenta não-conformidades nos resultados, devido a erros de apontamento e baixos valores de RSL. Sugere-se aumentar novamente a taxa de mutação, para pesquisar mais o espaço de busca e/ou sair de ótimos locais.							

Otimização de Arranjos de Antenas com Algoritmos Genéticos - O3AG							Versão:	1.0
Teste:	F - Taxas de Recombinação e Mutação			Arquivo:	o3ag_v1.0.sci		Data:	19/11/05
Tipo de Antenas:	Isotrópica	Nº de Elem.:	40	Espaçam.:	$\lambda / 4$	Teta <sub>o</sub> (°) =	90,000	
Teta <sub>1</sub> min (°) =	-	Teta <sub>2</sub> max (°) =	-	RSL (dB) >=	30,000	RMI <sub>min</sub> (dB) >=   RMM (Adm) =	-	
Tam. Pop. =	100	Recomb. =	35,00%	Mutação =	30,00%	Fator de Dilatação =	0,05	
Simulação Nº	Teta (°)	Beta (°)	RSL (dB)	RMI <sub>min</sub>   RMM (dB   Adm)	Aptidão (Adm)	Converg. (Gerações)	Tempo (minutos)	CPU - Clock (GHz)
01	89,954	0,023	33,777	-	48,845668	137	39,673	P4 - 2.8
02	89,954	-0,027	32,646	-	42,881013	146	39,674	P4 - 2.8
03	89,381	179,336	31,576	-	37,202817	129	39,648	P4 - 2.8
04	89,381	179,336	30,457	-	32,705576	102	39,673	P4 - 2.8
05	89,954	-0,031	31,379	-	37,061417	152	39,661	P4 - 2.8
06								
07								
08								
09								
10								
<b>Mínimo</b>	<b>89,381</b>	<b>-0,031</b>	<b>30,457</b>	<b>-</b>	<b>32,705576</b>	<b>102</b>	<b>39,648</b>	<b>-</b>
<b>Máximo</b>	<b>89,954</b>	<b>179,336</b>	<b>33,777</b>	<b>-</b>	<b>48,845668</b>	<b>152</b>	<b>39,674</b>	<b>-</b>
<b>Média<sub>Sem Erros</sub></b>	<b>89,954</b>	<b>-</b>	<b>32,601</b>	<b>-</b>	<b>42,929366</b>	<b>145</b>	<b>39,669</b>	<b>-</b>
<b>Comentário:</b>	O teste das taxas de recombinação e mutação apresenta não-conformidades nos resultados, devido a erros de apontamento. A redução da taxa de recombinação nos testes de D a F apresentou melhores resultados e com menor tempo de processamento. Entretanto, os resultados ainda podem ser melhores. Assim, sugere-se diminuir a taxa de recombinação, agora, de 10 em 10, e retornar para a taxa de mutação proposta inicialmente, isto é, 1% (teste A).							

Otimização de Arranjos de Antenas com Algoritmos Genéticos - O3AG							Versão:	1.0
Teste:	G - Taxas de Recombinação e Mutação			Arquivo:	o3ag_v1.0.sci		Data:	19/11/05
Tipo de Antenas:	Isotrópica	Nº de Elem.:	40	Espaçam.:	$\lambda / 4$	Teta <sub>o</sub> (°) =	90,000	
Teta <sub>1</sub> min (°) =	-	Teta <sub>2</sub> max (°) =	-	RSL (dB) >=	30,000	RMI <sub>min</sub> (dB) >=   RMM (Adm) =	-	
Tam. Pop. =	100	Recomb. =	25,00%	Mutação =	1,00%	Fator de Dilatação =	0,05	
Simulação Nº	Teta (°)	Beta (°)	RSL (dB)	RMI <sub>min</sub>   RMM (dB   Adm)	Aptidão (Adm)	Converg. (Gerações)	Tempo (minutos)	CPU - Clock (GHz)
01	88,808	-1,146	28,748	-	25,563207	136	16,179	P4 - 2.8
02	89,381	-0,334	30,292	-	32,089653	164	16,196	P4 - 2.8
03	89,381	-0,378	29,726	-	30,067131	89	16,179	P4 - 2.8
04	89,954	-0,251	28,656	-	27,085084	146	16,173	P4 - 2.8
05	89,954	179,909	26,073	-	20,117940	164	16,174	P4 - 2.8
06								
07								
08								
09								
10								
<b>Mínimo</b>	<b>88,808</b>	<b>-1,146</b>	<b>26,073</b>	<b>-</b>	<b>20,117940</b>	<b>89</b>	<b>16,173</b>	<b>-</b>
<b>Máximo</b>	<b>89,954</b>	<b>179,909</b>	<b>30,292</b>	<b>-</b>	<b>32,089653</b>	<b>164</b>	<b>16,196</b>	<b>-</b>
<b>Média<sub>Sem Erros</sub></b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>
<b>Comentário:</b>	O teste das taxas de recombinação e mutação apresenta não-conformidades nos resultados, devido a erros de apontamento e baixos valores de RSL. Sugere-se aumentar a taxa de mutação, para pesquisar mais o espaço de busca e/ou sair de ótimos locais.							

Otimização de Arranjos de Antenas com Algoritmos Genéticos - O3AG							Versão:	1.0
Teste:	H - Taxas de Recombinação e Mutação			Arquivo:	o3ag_v1.0.sci		Data:	19/11/05
Tipo de Antenas:	Isotrópica	Nº de Elem.:	40	Espaçam.:	$\lambda / 4$	Teta <sub>o</sub> (°) =	90,000	
Teta <sub>1</sub> min (°) =	-	Teta <sub>2</sub> max (°) =	-	RSL (dB) >=	30,000	RMI <sub>min</sub> (dB) >=   RMM (Adm) =	-	
Tam. Pop. =	100	Recomb. =	25,00%	Mutação =	15,00%	Fator de Dilatação =	0,05	
Simulação Nº	Teta (°)	Beta (°)	RSL (dB)	RMI <sub>min</sub>   RMM (dB   Adm)	Aptidão (Adm)	Converg. (Gerações)	Tempo (minutos)	CPU - Clock (GHz)
01	89,954	-0,229	29,064	-	28,389199	114	24,566	P4 - 2.8
02	89,954	0,011	32,101	-	40,274364	134	24,589	P4 - 2.8
03	89,381	179,336	33,555	-	46,721907	105	24,594	P4 - 2.8
04	89,527	0,407	33,020	-	44,155337	155	24,572	P4 - 2.8
05	89,954	-179,816	27,433	-	23,530045	116	24,573	P4 - 2.8
06								
07								
08								
09								
10								
<b>Mínimo</b>	<b>89,381</b>	<b>-179,816</b>	<b>27,433</b>	<b>-</b>	<b>23,530045</b>	<b>105</b>	<b>24,566</b>	<b>-</b>
<b>Máximo</b>	<b>90,527</b>	<b>179,336</b>	<b>33,555</b>	<b>-</b>	<b>46,721907</b>	<b>155</b>	<b>24,594</b>	<b>-</b>
<b>Média<sub>Sem Erros</sub></b>	<b>89,954</b>	<b>-</b>	<b>32,101</b>	<b>-</b>	<b>40,274364</b>	<b>134</b>	<b>24,589</b>	<b>-</b>
<b>Comentário:</b>	O teste das taxas de recombinação e mutação apresenta não-conformidades nos resultados, devido a erros de apontamento e baixos valores de RSL. Sugere-se aumentar novamente a taxa de mutação, para pesquisar mais o espaço de busca e/ou sair de ótimos locais.							

Otimização de Arranjos de Antenas com Algoritmos Genéticos - O3AG							Versão:	1.0
Teste:	I - Taxas de Recombinação e Mutação			Arquivo:	o3ag_v1.0.sci		Data:	19/11/05
Tipo de Antenas:	Isotrópica	Nº de Elem.:	40	Espaçam.:	$\lambda / 4$	Teta <sub>o</sub> (°) =	90,000	
Teta <sub>1</sub> min (°) =	-	Teta <sub>2</sub> max (°) =	-	RSL (dB) >=	30,000	RMI <sub>min</sub> (dB) >=   RMM (Adm) =	-	
Tam. Pop. =	100	Recomb. =	25,00%	Mutação =	30,00%	Fator de Dilatação =	0,05	
Simulação Nº	Teta (°)	Beta (°)	RSL (dB)	RMI <sub>min</sub>   RMM (dB   Adm)	Aptidão (Adm)	Converg. (Gerações)	Tempo (minutos)	CPU - Clock (GHz)
01	89,954	179,909	29,854	-	31,091689	55	33,845	P4 - 2.8
02	89,381	-0,573	31,799	-	38,169924	127	33,678	P4 - 2.8
03	92,246	-178,190	32,143	-	32,319597	160	33,685	P4 - 2.8
04	89,954	-0,027	33,509	-	47,356943	125	33,639	P4 - 2.8
05	89,954	179,900	33,875	-	49,394723	155	33,653	P4 - 2.8
06								
07								
08								
09								
10								
<b>Mínimo</b>	<b>89,381</b>	<b>-178,190</b>	<b>29,854</b>	<b>-</b>	<b>31,091689</b>	<b>55</b>	<b>33,639</b>	<b>-</b>
<b>Máximo</b>	<b>92,246</b>	<b>179,909</b>	<b>33,875</b>	<b>-</b>	<b>49,394723</b>	<b>160</b>	<b>33,845</b>	<b>-</b>
<b>Média<sub>Sem Erros</sub></b>	<b>89,954</b>	<b>-</b>	<b>33,692</b>	<b>-</b>	<b>48,375833</b>	<b>140</b>	<b>33,646</b>	<b>-</b>
<b>Comentário:</b>	O teste das taxas de recombinação e mutação apresenta não-conformidades nos resultados, devido a erros de apontamento e um baixo valor de RSL. A redução da taxa de recombinação nos testes de G a I não apresentou grande melhoria nos resultados, pois obteve um menor tempo de processamento e aumentou a aptidão média, mas gerou erros de RSL, fato bastante indesejável. Assim, sugere-se parar a redução da taxa de recombinação, que iria para 15%, passando a aumentar o valor da taxa, que deverá ser de 30% (intermediário entre os 25% e 35% já testados). Quanto à taxa de mutação, deve retornar ao valor proposto inicialmente, isto é, 1% (teste A).							

Otimização de Arranjos de Antenas com Algoritmos Genéticos - O3AG							Versão:	1.0
Teste:	J - Taxas de Recombinação e Mutação			Arquivo:	o3ag_v1.0.sci		Data:	19/11/05
Tipo de Antenas:	Isotrópica	Nº de Elem.:	40	Espaçam.:	$\lambda / 4$	Teta <sub>o</sub> (°) =	90,000	
Teta <sub>1</sub> min (°) =	-	Teta <sub>2</sub> max (°) =	-	RSL (dB) >=	30,000	RMI <sub>min</sub> (dB) >=   RMM (Adm) =	-	
Tam. Pop. =	100	Recomb. =	30,00%	Mutação =	1,00%	Fator de Dilatação =	0,05	
Simulação Nº	Teta (°)	Beta (°)	RSL (dB)	RMI <sub>min</sub>   RMM (dB   Adm)	Aptidão (Adm)	Converg. (Gerações)	Tempo (minutos)	CPU - Clock (GHz)
01	89,954	-0,030	31,831	-	39,038396	164	19,392	P4 - 2.8
02	91,673	-178,763	27,978	-	21,978071	155	19,388	P4 - 2.8
03	89,954	-0,240	29,076	-	25,334973	155	19,397	P4 - 2.8
04	89,954	0,014	28,819	-	27,598914	42	19,401	P4 - 2.8
05	89,954	-179,909	28,360	-	26,150068	198	19,388	P4 - 2.8
06								
07								
08								
09								
10								
<b>Mínimo</b>	<b>89,954</b>	<b>-179,909</b>	<b>27,978</b>	<b>-</b>	<b>21,978071</b>	<b>42</b>	<b>19,388</b>	<b>-</b>
<b>Máximo</b>	<b>91,673</b>	<b>0,014</b>	<b>31,831</b>	<b>-</b>	<b>39,038396</b>	<b>198</b>	<b>19,401</b>	<b>-</b>
<b>Média<sub>Sem Erros</sub></b>	<b>89,954</b>	<b>-</b>	<b>31,831</b>	<b>-</b>	<b>39,038396</b>	<b>164</b>	<b>19,392</b>	<b>-</b>
<b>Comentário:</b>	O teste das taxas de recombinação e mutação apresenta não-conformidades nos resultados, devido a um erro de apontamento e baixos valores de RSL. Sugere-se aumentar a taxa de mutação, para pesquisar mais o espaço de busca e/ou sair de ótimos locais.							

Otimização de Arranjos de Antenas com Algoritmos Genéticos - O3AG							Versão:	1.0
Teste:	K - Taxas de Recombinação e Mutação			Arquivo:	o3ag_v1.0.sci		Data:	19/11/05
Tipo de Antenas:	Isotrópica	Nº de Elem.:	40	Espaçam.:	$\lambda / 4$	Teta <sub>o</sub> (°) =	90,000	
Teta <sub>1</sub> min (°) =	-	Teta <sub>2</sub> max (°) =	-	RSL (dB) >=	30,000	RMI <sub>min</sub> (dB) >=   RMM (Adm) =	-	
Tam. Pop. =	100	Recomb. =	30,00%	Mutação =	15,00%	Fator de Dilatação =	0,05	
Simulação Nº	Teta (°)	Beta (°)	RSL (dB)	RMI <sub>min</sub>   RMM (dB   Adm)	Aptidão (Adm)	Converg. (Gerações)	Tempo (minutos)	CPU - Clock (GHz)
01	89,954	-0,123	28,482	-	26,549099	97	27,809	P4 - 2.8
02	90,527	0,573	30,967	-	34,863671	73	27,818	P4 - 2.8
03	89,954	0,181	30,707	-	34,302085	84	27,843	P4 - 2.8
04	89,954	-0,100	33,693	-	48,372786	182	27,831	P4 - 2.8
05	89,954	179,909	31,806	-	38,925424	184	27,813	P4 - 2.8
06								
07								
08								
09								
10								
<b>Mínimo</b>	<b>89,954</b>	<b>-0,123</b>	<b>28,482</b>	<b>-</b>	<b>26,549099</b>	<b>73</b>	<b>27,809</b>	<b>-</b>
<b>Máximo</b>	<b>90,527</b>	<b>179,909</b>	<b>33,693</b>	<b>-</b>	<b>48,372786</b>	<b>184</b>	<b>27,843</b>	<b>-</b>
<b>Média<sub>Sem Erros</sub></b>	<b>89,954</b>	<b>-</b>	<b>32,069</b>	<b>-</b>	<b>40,533432</b>	<b>150</b>	<b>27,829</b>	<b>-</b>
<b>Comentário:</b>	O teste das taxas de recombinação e mutação apresenta não-conformidades nos resultados, devido a um erro de apontamento e um baixo valor de RSL. Sugere-se aumentar novamente a taxa de mutação, para pesquisar mais o espaço de busca e/ou sair de ótimos locais.							

Otimização de Arranjos de Antenas com Algoritmos Genéticos - O3AG							Versão:	1.0
Teste:	L - Taxas de Recombinação e Mutação		Arquivo:	o3ag_v1.0.sci		Data:	19/11/05	
Tipo de Antenas:	Isotrópica	Nº de Elem.:	40	Espaçam.:	$\lambda / 4$	Teta <sub>o</sub> (°) =	90,000	
Teta <sub>11min</sub> (°) =	-	Teta <sub>12max</sub> (°) =	-	RSLL (dB) >=	30,000	RMI <sub>min</sub> (dB) >=   RMM (Adm) =	-	
Tam. Pop. =	100	Recomb. =	30,00%	Mutação =	30,00%	Fator de Dilatação =	0,05	
Simulação Nº	Teta (°)	Beta (°)	RSLL (dB)	RMI <sub>min</sub>   RMM (dB   Adm)	Aptidão (Adm)	Converg. (Gerações)	Tempo (minutos)	CPU - Clock (GHz)
01	89,381	-0,544	33,380	-	45,789256	196	36,683	P4 - 2.8
02	89,954	-0,024	30,393	-	33,083600	146	36,664	P4 - 2.8
03	89,954	-0,043	34,372	-	52,306829	174	36,674	P4 - 2.8
04	88,808	178,862	33,318	-	43,264383	121	36,702	P4 - 2.8
05	89,954	-179,814	33,100	-	45,180488	190	36,664	P4 - 2.8
06	89,954	-0,087	33,592	-	47,813502	147	36,665	P4 - 2.8
07	89,954	0,089	30,871	-	34,953744	66	36,659	P4 - 2.8
08	89,954	179,800	30,373	-	33,006282	193	36,654	P4 - 2.8
09	89,954	-0,186	32,463	-	41,983863	163	36,699	P4 - 2.8
10	89,381	-0,598	31,189	-	35,581625	83	36,661	P4 - 2.8
<b>Mínimo</b>	<b>88,808</b>	<b>-179,814</b>	<b>30,373</b>	-	<b>33,006282</b>	<b>66</b>	<b>36,654</b>	-
<b>Máximo</b>	<b>89,954</b>	<b>179,800</b>	<b>34,372</b>	-	<b>52,306829</b>	<b>196</b>	<b>36,702</b>	-
<b>Média<sub>Sem Erros</sub></b>	<b>89,954</b>	<b>-</b>	<b>32,166</b>	-	<b>41,189758</b>	<b>154</b>	<b>36,668</b>	-
<b>Comentário:</b>	O teste das taxas de recombinação e mutação apresenta não-conformidades nos resultados, devido a erros de apontamento. Entretanto, esta taxa de recombinação apresentou os melhores resultados, pois teve o menor número de erros de apontamento (30%) e não gerou erros de RSLL, além de ter uma aptidão média elevada e um tempo de processamento relativamente baixo. Ressalta-se que foram feitos 10 testes para comprovar a capacidade de reproduzir os resultados e, como já foram testadas as taxas de recombinação imediatamente acima e abaixo (35 e 25%), adota-se esta taxa como a melhor. Neste contexto, sugere-se variar para mais e para menos a taxa de mutação, isto é, para 35 e 25%, afim de verificar se haverá melhoria nos resultados.							

Otimização de Arranjos de Antenas com Algoritmos Genéticos - O3AG							Versão:	1.0
Teste:	M - Taxas de Recombinação e Mutação		Arquivo:	o3ag_v1.0.sci		Data:	19/11/05	
Tipo de Antenas:	Isotrópica	Nº de Elem.:	40	Espaçam.:	$\lambda / 4$	Teta <sub>o</sub> (°) =	90,000	
Teta <sub>11min</sub> (°) =	-	Teta <sub>12max</sub> (°) =	-	RSLL (dB) >=	30,000	RMI <sub>min</sub> (dB) >=   RMM (Adm) =	-	
Tam. Pop. =	100	Recomb. =	30,00%	Mutação =	35,00%	Fator de Dilatação =	0,05	
Simulação Nº	Teta (°)	Beta (°)	RSLL (dB)	RMI <sub>min</sub>   RMM (dB   Adm)	Aptidão (Adm)	Converg. (Gerações)	Tempo (minutos)	CPU - Clock (GHz)
01	90,527	0,517	34,631	-	53,155429	142	39,709	P4 - 2.8
02	89,954	0,000	34,974	-	56,057657	67	39,728	P4 - 2.8
03	90,527	0,388	33,596	-	47,183304	171	39,713	P4 - 2.8
04	89,954	-0,035	33,466	-	47,127692	104	39,688	P4 - 2.8
05	89,954	0,082	34,782	-	54,836163	123	39,698	P4 - 2.8
06	89,954	-0,241	33,032	-	44,827678	138	39,710	P4 - 2.8
07	89,954	0,005	32,569	-	42,500350	153	39,714	P4 - 2.8
08	89,954	0,100	32,800	-	43,648093	86	39,694	P4 - 2.8
09	90,527	0,540	34,856	-	54,550695	134	39,703	P4 - 2.8
10	89,381	-0,666	31,253	-	35,845818	198	39,682	P4 - 2.8
<b>Mínimo</b>	<b>89,381</b>	<b>-0,666</b>	<b>31,253</b>	-	<b>35,845818</b>	<b>67</b>	<b>39,682</b>	-
<b>Máximo</b>	<b>90,527</b>	<b>0,540</b>	<b>34,974</b>	-	<b>56,057657</b>	<b>198</b>	<b>39,728</b>	-
<b>Média<sub>Sem Erros</sub></b>	<b>89,954</b>	<b>-</b>	<b>33,604</b>	-	<b>48,166272</b>	<b>112</b>	<b>39,705</b>	-
<b>Comentário:</b>	O teste das taxas de recombinação e mutação apresenta não-conformidades nos resultados, devido a erros de apontamento. Com respeito ao teste L, os resultados foram piores, pois houve um maior número de erros de apontamento (40%) e um maior tempo de processamento. Novamente, ressalta-se que foram feitos 10 testes para comprovar a capacidade de reproduzir os resultados.							

Otimização de Arranjos de Antenas com Algoritmos Genéticos - O3AG							Versão:	1.0
Teste:	N - Taxas de Recombinação e Mutação		Arquivo:	o3ag_v1.0.sci		Data:	19/11/05	
Tipo de Antenas:	Isotrópica	Nº de Elem.:	40	Espaçam.:	$\lambda / 4$	Teta <sub>o</sub> (°) =	90,000	
Teta <sub>11min</sub> (°) =	-	Teta <sub>12max</sub> (°) =	-	RSLL (dB) >=	30,000	RMI <sub>min</sub> (dB) >=   RMM (Adm) =	-	
Tam. Pop. =	100	Recomb. =	30,00%	Mutação =	25,00%	Fator de Dilatação =	0,05	
Simulação Nº	Teta (°)	Beta (°)	RSLL (dB)	RMI <sub>min</sub>   RMM (dB   Adm)	Aptidão (Adm)	Converg. (Gerações)	Tempo (minutos)	CPU - Clock (GHz)
01	89,954	0,147	33,871	-	49,373805	110	33,835	P4 - 2.8
02	89,954	-0,079	34,789	-	54,751772	110	33,813	P4 - 2.8
03	89,954	0,146	31,613	-	38,072589	70	33,818	P4 - 2.8
04	89,381	-0,307	32,400	-	40,903208	192	33,811	P4 - 2.8
05	89,381	179,336	32,791	-	42,788050	122	33,815	P4 - 2.8
06	89,954	-0,030	31,645	-	38,211971	200	33,790	P4 - 2.8
07	89,954	0,000	34,970	-	56,035043	82	33,814	P4 - 2.8
08	89,954	-0,032	31,038	-	35,631276	114	33,788	P4 - 2.8
09	89,954	-0,149	32,932	-	44,317928	66	33,813	P4 - 2.8
10	89,954	-0,025	31,813	-	38,958695	108	33,793	P4 - 2.8
<b>Mínimo</b>	<b>89,381</b>	<b>-0,307</b>	<b>31,038</b>	-	<b>35,631276</b>	<b>66</b>	<b>33,788</b>	-
<b>Máximo</b>	<b>89,954</b>	<b>179,336</b>	<b>34,970</b>	-	<b>56,035043</b>	<b>200</b>	<b>33,835</b>	-
<b>Média<sub>Sem Erros</sub></b>	<b>89,954</b>	<b>-</b>	<b>32,831</b>	-	<b>44,419135</b>	<b>108</b>	<b>33,808</b>	-
<b>Comentário:</b>	O teste das taxas de recombinação e mutação apresenta não-conformidades nos resultados, devido a erros de apontamento. Com respeito ao teste L, os resultados foram melhores, pois houve um menor número de erros de apontamento (20%), uma aptidão média maior e um tempo de processamento menor, além de convergir num número menor de gerações, o que faz adotar esta taxa de mutação como a melhor. Agora, sugere-se variar para menos a taxa de mutação, isto é, 20%, afim de verificar se há melhoria nos resultados.							

Otimização de Arranjos de Antenas com Algoritmos Genéticos - O3AG						Versão:	1.0	
Teste:	O - Taxas de Recombinação e Mutação		Arquivo:	o3ag_v1.0.sci		Data:	20/11/05	
Tipo de Antenas:	Isotrópica	Nº de Elem.:	40	Espaçam.:	$\lambda / 4$	Teta <sub>o</sub> (°) =	90,000	
Teta <sub>1</sub> /min (°) =	-	Teta <sub>2</sub> /máx (°) =	-	RSLL (dB) >=	30,000	RMI <sub>min</sub> (dB) >=   RMM (Adm) =	-	
Tam. Pop. =	100	Recomb. =	30,00%	Mutação =	20,00%	Fator de Dilatação =	0,05	
Simulação N°	Teta (°)	Beta (°)	RSLL (dB)	RMI <sub>min</sub>   RMM (dB   Adm)	Aptidão (Adm)	Converg. (Gerações)	Tempo (minutos)	CPU - Clock (GHz)
01	89,954	-0,035	32,129	-	40,400046	178	30,498	P4 - 2.8
02	89,954	-0,101	33,981	-	50,005061	80	31,761	P4 - 2.8
03	90,527	0,540	29,170	-	28,347255	200	32,412	P4 - 2.8
04	89,954	-0,041	35,698	-	60,932411	187	32,662	P4 - 2.8
05	89,954	-0,035	32,988	-	44,603889	157	32,315	P4 - 2.8
06	89,954	-0,045	33,290	-	46,179721	167	30,503	P4 - 2.8
07	89,954	0,180	32,760	-	43,447899	163	30,512	P4 - 2.8
08	89,954	-0,031	34,634	-	53,908770	99	30,519	P4 - 2.8
09	89,954	-0,031	36,106	-	63,864036	119	30,520	P4 - 2.8
10	92,246	-178,173	33,598	-	38,210140	186	30,539	P4 - 2.8
<b>Mínimo</b>	<b>89,954</b>	<b>-178,173</b>	<b>29,170</b>	-	<b>28,347255</b>	<b>80</b>	<b>30,498</b>	-
<b>Máximo</b>	<b>92,246</b>	<b>0,540</b>	<b>36,106</b>	-	<b>63,864036</b>	<b>200</b>	<b>32,662</b>	-
<b>Média<sub>Sem Erros</sub></b>	<b>89,954</b>	<b>-</b>	<b>33,948</b>	-	<b>50,417729</b>	<b>144</b>	<b>31,161</b>	-
<b>Comentário:</b>	O teste das taxas de recombinação e mutação apresenta não-conformidades nos resultados, devido a erros de apontamento e baixos valores de RSLL. Com respeito ao teste N, os resultados foram piores, pois houve o mesmo número de erros de apontamento (20%), mas aconteceram erros de RSLL.							

# Apêndice III - Testes da Função O3AG Versão 1.1

Otimização de Arranjos de Antenas com Algoritmos Genéticos - O3AG								Versão:	1.1
Teste:	A - Taxas de Recombinação e Mutação			Arquivo:	o3ag_v1.1.sci			Data:	21/11/05
Tipo de Antenas:	Isotrópica	Nº de Elem.:	40	Espaçam.:	$\lambda / 4$	Teta <sub>0</sub> (°) =	90,000		
Teta <sub>1</sub> (min) (°) =	-	Teta <sub>2</sub> (max) (°) =	-	RSL (dB) >=	30,000	RMI <sub>min</sub> (dB) >=   RMM (Adm) =	-		
Tam. Pop. =	100	Recomb. =	30,00%	Mutação =	25,00%	Fator de Dilatação =	0,05		
Simulação Nº	Teta (°)	Beta (°)	RSL (dB)	RMI <sub>min</sub>   RMM (dB   Adm)	Aptidão (Adm)	Converg. (Gerações)	Tempo (minutos)	CPU - Clock (GHz)	
01	89,954	-0,080	34,192	-	51,231982	129	22,997	P4 - 2.8*	
02	89,954	179,777	37,567	-	75,564540	121	23,002	P4 - 2.8*	
03	89,954	-0,104	33,377	-	46,643789	186	23,048	P4 - 2.8*	
04	89,954	-0,248	34,514	-	53,166346	143	23,082	P4 - 2.8*	
05	89,954	-0,030	29,649	-	30,020359	193	22,984	P4 - 2.8*	
06	89,954	0,084	34,588	-	53,621679	171	23,005	P4 - 2.8*	
07	89,954	-179,901	33,106	-	45,211577	144	22,984	P4 - 2.8*	
08	89,954	-0,509	31,828	-	38,297686	193	23,001	P4 - 2.8*	
09	89,954	179,315	36,914	-	68,779627	152	22,999	P4 - 2.8*	
10	89,954	0,002	32,931	-	44,311299	174	22,978	P4 - 2.8*	
<b>Mínimo</b>	<b>89,381</b>	<b>-179,901</b>	<b>29,549</b>	-	<b>30,020359</b>	<b>121</b>	<b>22,978</b>	-	
<b>Máximo</b>	<b>89,954</b>	<b>179,777</b>	<b>37,567</b>	-	<b>75,564540</b>	<b>193</b>	<b>23,082</b>	-	
<b>Média<sub>Sem Erros</sub></b>	<b>89,954</b>	-	<b>34,325</b>	-	<b>52,821602</b>	<b>153</b>	<b>23,014</b>	-	
<b>Comentário:</b>	O teste das taxas de recombinação e mutação apresenta não-conformidades nos resultados, devido a erros de apontamento e a um erro de baixo valor de RSL, porém, o uso de recombinação máximo-mínimo apresentou resultados bem melhores de RSL e Aptidão que a versão 1.0 do O3AG. Com esse tipo de recombinação, é obtida melhor varredura do espaço de busca, evitando convergência prematura. Então, sugere-se aumentar o número máximo de gerações para terminar o AG de 200 para 300, visando averiguar melhores resultados. Destaca-se o excelente resultado obtido na segunda simulação, com uma aptidão maior que 75 e um RSL superior a 37 dB. Na coluna CPU - Clock (GHz), os "*" indicam que foi usada a versão 3.0 do Scilab nas simulações e não a versão 3.1.1.								

Otimização de Arranjos de Antenas com Algoritmos Genéticos - O3AG								Versão:	1.1
Teste:	B - Taxas de Recombinação e Mutação			Arquivo:	o3ag_v1.1.sci			Data:	21/11/05
Tipo de Antenas:	Isotrópica	Nº de Elem.:	40	Espaçam.:	$\lambda / 4$	Teta <sub>0</sub> (°) =	90,000		
Teta <sub>1</sub> (min) (°) =	-	Teta <sub>2</sub> (max) (°) =	-	RSL (dB) >=	30,000	RMI <sub>min</sub> (dB) >=   RMM (Adm) =	-		
Tam. Pop. =	100	Recomb. =	30,00%	Mutação =	25,00%	Fator de Dilatação =	0,05		
Simulação Nº	Teta (°)	Beta (°)	RSL (dB)	RMI <sub>min</sub>   RMM (dB   Adm)	Aptidão (Adm)	Converg. (Gerações)	Tempo (minutos)	CPU - Clock (GHz)	
01	89,954	-0,074	34,595	-	53,669705	255	50,454	P4 - 2.8	
02	91,100	-179,117	33,110	-	42,653439	281	50,374	P4 - 2.8	
03	89,954	0,005	35,153	-	57,230548	223	50,323	P4 - 2.8	
04	89,954	0,149	31,942	-	39,539884	299	50,354	P4 - 2.8	
05	89,954	-0,030	36,166	-	64,305426	275	50,355	P4 - 2.8	
06									
07									
08									
09									
10									
<b>Mínimo</b>	<b>89,954</b>	<b>-179,117</b>	<b>31,942</b>	-	<b>39,539884</b>	<b>223</b>	<b>50,323</b>	-	
<b>Máximo</b>	<b>91,100</b>	<b>0,149</b>	<b>36,166</b>	-	<b>64,305426</b>	<b>299</b>	<b>50,454</b>	-	
<b>Média<sub>Sem Erros</sub></b>	<b>89,954</b>	-	<b>34,464</b>	-	<b>53,686391</b>	<b>263</b>	<b>50,371</b>	-	
<b>Comentário:</b>	O teste das taxas de recombinação e mutação apresenta não-conformidades nos resultados, devido a um erro de apontamento. O teste apresentou melhores de RSL e Aptidão que aqueles do teste A, porém, sem erros de RSL e com apenas um de erro de apontamento. Isto confirma que esse tipo de recombinação tem melhor varredura do espaço de busca, evitando convergência prematura, mas que converge com mais gerações, o que ratifica a escolha de 300 gerações como critério de parada do AG. Então, sugere-se diminuir a taxa de mutação para reduzir o número de gerações necessárias para a convergência.								



Otimização de Arranjos de Antenas com Algoritmos Genéticos - O3AG								Versão:	1.1
Teste:	C - Taxas de Recombinação e Mutação			Arquivo:	o3ag_v1.1.sci		Data:	21/11/05	
Tipo de Antenas:	Isotrópica	Nº de Elem.:	40	Espaçam.:	$\lambda / 4$	Teta <sub>o</sub> (°) =	90,000		
Teta <sub>1</sub> /min (°) =	-	Teta <sub>2</sub> /máx (°) =	-	RSL (dB) >=	30,000	RMI <sub>min</sub> (dB) >=   RMM (Adm) =	-		
Tam. Pop. =	100	Recomb. =	30,00%	Mutação =	15,00%	Fator de Dilatação =	0,05		
Simulação Nº	Teta (°)	Beta (°)	RSL (dB)	RMI <sub>min</sub>   RMM (dB   Adm)	Aptidão (Adm)	Converg. (Gerações)	Tempo (minutos)	CPU - Clock (GHz)	
01	88,236	178,763	33,363	-	40,300085	157	41,315	P4 - 2.8	
02	89,954	-0,021	30,165	-	32,224318	167	41,290	P4 - 2.8	
03	89,384	179,336	32,867	-	43,162053	167	41,308	P4 - 2.8	
04	89,954	0,130	34,680	-	54,194780	300	41,324	P4 - 2.8	
05	89,954	-0,038	31,373	-	37,036253	291	41,275	P4 - 2.8	
06									
07									
08									
09									
10									
<b>Mínimo</b>	<b>88,236</b>	<b>-0,038</b>	<b>30,165</b>	<b>-</b>	<b>32,224318</b>	<b>157</b>	<b>41,275</b>	<b>-</b>	
<b>Máximo</b>	<b>89,954</b>	<b>179,336</b>	<b>34,680</b>	<b>-</b>	<b>54,194780</b>	<b>300</b>	<b>41,324</b>	<b>-</b>	
<b>Média<sub>Sem Erros</sub></b>	<b>89,954</b>	<b>-</b>	<b>32,073</b>	<b>-</b>	<b>41,151784</b>	<b>253</b>	<b>41,296</b>	<b>-</b>	
<b>Comentário:</b>	O teste das taxas de recombinação e mutação apresenta não-conformidades nos resultados, devido a erros de apontamento. O resultado foi pior que aquele do teste B, pois teve maior número de erros de apontamento e menores valores médios de RSL e Aptidão, com apenas uma sutil redução no número de Gerações para a Convergência. Para verificar os resultados, sugere-se reduzir ainda mais taxa de mutação.								

Otimização de Arranjos de Antenas com Algoritmos Genéticos - O3AG								Versão:	1.1
Teste:	D - Taxas de Recombinação e Mutação			Arquivo:	o3ag_v1.1.sci		Data:	21/11/05	
Tipo de Antenas:	Isotrópica	Nº de Elem.:	40	Espaçam.:	$\lambda / 4$	Teta <sub>o</sub> (°) =	90,000		
Teta <sub>1</sub> /min (°) =	-	Teta <sub>2</sub> /máx (°) =	-	RSL (dB) >=	30,000	RMI <sub>min</sub> (dB) >=   RMM (Adm) =	-		
Tam. Pop. =	100	Recomb. =	30,00%	Mutação =	1,00%	Fator de Dilatação =	0,05		
Simulação Nº	Teta (°)	Beta (°)	RSL (dB)	RMI <sub>min</sub>   RMM (dB   Adm)	Aptidão (Adm)	Converg. (Gerações)	Tempo (minutos)	CPU - Clock (GHz)	
01	89,954	-0,035	32,420	-	41,779020	269	28,659	P4 - 2.8	
02	89,954	0,087	34,692	-	54,271994	220	28,693	P4 - 2.8	
03	89,954	-0,025	32,609	-	42,696467	297	28,694	P4 - 2.8	
04	89,954	-0,033	32,842	-	43,857421	271	28,676	P4 - 2.8	
05	89,954	-0,141	29,679	-	30,472213	218	28,649	P4 - 2.8	
06									
07									
08									
09									
10									
<b>Mínimo</b>	<b>89,954</b>	<b>-0,141</b>	<b>29,679</b>	<b>-</b>	<b>30,472213</b>	<b>218</b>	<b>28,649</b>	<b>-</b>	
<b>Máximo</b>	<b>89,954</b>	<b>0,087</b>	<b>34,692</b>	<b>-</b>	<b>54,271994</b>	<b>297</b>	<b>28,694</b>	<b>-</b>	
<b>Média<sub>Sem Erros</sub></b>	<b>89,954</b>	<b>-</b>	<b>33,141</b>	<b>-</b>	<b>45,651226</b>	<b>264</b>	<b>28,680</b>	<b>-</b>	
<b>Comentário:</b>	O teste das taxas de recombinação e mutação apresenta não-conformidades nos resultados, devido a um erro de baixo valor de RSL. Esse resultado confirma a idéia inicial de que se deve reduzir a taxa de mutação no algoritmo usando recombinação máximo-mínimo, mostrando resultados superiores ao teste C e comparáveis àqueles do teste B, com a vantagem de não ter erros de apontamento, ocorrendo apenas um erro de RSL. No entanto, como os resultados são próximos, opta-se pelas taxas do teste B, já que a pequena taxa de mutação (1%) torna o algoritmo muito suscetível à convergência prematura. Assim, sugere-se, agora, reduzir de 10 a taxa de recombinação, testando frente as taxas de mutação já utilizadas.								

Otimização de Arranjos de Antenas com Algoritmos Genéticos - O3AG								Versão:	1.1
Teste:	E - Taxas de Recombinação e Mutação			Arquivo:	o3ag_v1.1.sci		Data:	22/11/05	
Tipo de Antenas:	Isotrópica	Nº de Elem.:	40	Espaçam.:	$\lambda / 4$	Teta <sub>o</sub> (°) =	90,000		
Teta <sub>1</sub> /min (°) =	-	Teta <sub>2</sub> /máx (°) =	-	RSL (dB) >=	30,000	RMI <sub>min</sub> (dB) >=   RMM (Adm) =	-		
Tam. Pop. =	100	Recomb. =	20,00%	Mutação =	25,00%	Fator de Dilatação =	0,05		
Simulação Nº	Teta (°)	Beta (°)	RSL (dB)	RMI <sub>min</sub>   RMM (dB   Adm)	Aptidão (Adm)	Converg. (Gerações)	Tempo (minutos)	CPU - Clock (GHz)	
01	89,954	-0,239	32,657	-	42,935326	243	41,550	P4 - 2.8	
02	90,527	0,519	32,663	-	42,380673	219	41,576	P4 - 2.8	
03	89,954	-0,034	33,412	-	46,831938	281	41,503	P4 - 2.8	
04	89,954	179,767	36,332	-	65,550828	228	41,544	P4 - 2.8	
05	94,100	0,800	33,356	-	43,879263	289	41,560	P4 - 2.8	
06									
07									
08									
09									
10									
<b>Mínimo</b>	<b>89,954</b>	<b>-0,239</b>	<b>32,657</b>	<b>-</b>	<b>42,380673</b>	<b>219</b>	<b>41,503</b>	<b>-</b>	
<b>Máximo</b>	<b>91,100</b>	<b>179,767</b>	<b>36,332</b>	<b>-</b>	<b>65,550828</b>	<b>289</b>	<b>41,576</b>	<b>-</b>	
<b>Média<sub>Sem Erros</sub></b>	<b>89,954</b>	<b>-</b>	<b>34,134</b>	<b>-</b>	<b>51,772697</b>	<b>251</b>	<b>41,532</b>	<b>-</b>	
<b>Comentário:</b>	O teste das taxas de recombinação e mutação apresenta não-conformidades nos resultados, devido a erros de apontamento. Com isso, continua-se a optar pelo teste B e sugere-se continuar os testes com a redução progressiva da taxa de mutação.								

Otimização de Arranjos de Antenas com Algoritmos Genéticos - O3AG								Versão:	1.1
Teste:	F - Taxas de Recombinação e Mutação			Arquivo:	o3ag_v1.1.sci		Data:	22/11/05	
Tipo de Antenas:	Isotrópica	Nº de Elem.:	40	Espaçam.:	$\lambda / 4$	Teta <sub>o</sub> (°) =	90,000		
Teta <sub>1</sub> min (°) =	-	Teta <sub>2</sub> max (°) =	-	RSL (dB) >=	30,000	RMI <sub>min</sub> (dB) >=   RMM (Adm) =	-		
Tam. Pop. =	100	Recomb. =	20,00%	Mutação =	15,00%	Fator de Dilatação =	0,05		
Simulação Nº	Teta (°)	Beta (°)	RSL (dB)	RMI <sub>min</sub>   RMM (dB   Adm)	Aptidão (Adm)	Converg. (Gerações)	Tempo (minutos)	CPU - Clock (GHz)	
01	89,954	0,007	35,508	-	59,611623	195	32,874	P4 - 2.8	
02	89,954	-0,252	33,739	-	48,631810	293	32,997	P4 - 2.8	
03	89,954	-0,047	34,271	-	51,700848	258	33,142	P4 - 2.8	
04	89,954	-0,243	34,901	-	55,590156	288	32,962	P4 - 2.8	
05	89,381	-0,573	33,552	-	46,703239	289	33,273	P4 - 2.8	
06									
07									
08									
09									
10									
Mínimo	89,381	-0,573	33,552	-	46,703239	195	32,874	-	
Máximo	89,954	0,007	35,508	-	59,611623	293	33,273	-	
Média <sub>Sem Erros</sub>	89,954	-	34,605	-	53,883609	259	32,994	-	
Comentário:	O teste das taxas de recombinação e mutação apresenta não-conformidades nos resultados, devido a um erro de apontamento. O resultado foi um pouco superior àquele do teste B, com a vantagem de reduzir o tempo de processamento (redução maior que 17 minutos), sendo o melhor resultado até então. Sugere-se continuar os testes com a redução progressiva da taxa de mutação.								

Otimização de Arranjos de Antenas com Algoritmos Genéticos - O3AG								Versão:	1.1
Teste:	G - Taxas de Recombinação e Mutação			Arquivo:	o3ag_v1.1.sci		Data:	22/11/05	
Tipo de Antenas:	Isotrópica	Nº de Elem.:	40	Espaçam.:	$\lambda / 4$	Teta <sub>o</sub> (°) =	90,000		
Teta <sub>1</sub> min (°) =	-	Teta <sub>2</sub> max (°) =	-	RSL (dB) >=	30,000	RMI <sub>min</sub> (dB) >=   RMM (Adm) =	-		
Tam. Pop. =	100	Recomb. =	20,00%	Mutação =	1,00%	Fator de Dilatação =	0,05		
Simulação Nº	Teta (°)	Beta (°)	RSL (dB)	RMI <sub>min</sub>   RMM (dB   Adm)	Aptidão (Adm)	Converg. (Gerações)	Tempo (minutos)	CPU - Clock (GHz)	
01	89,954	-0,168	31,754	-	38,696019	285	19,376	P4 - 2.8	
02	89,954	-0,020	30,455	-	33,320826	266	19,367	P4 - 2.8	
03	89,954	-0,035	29,199	-	28,802160	271	19,368	P4 - 2.8	
04	89,954	-0,036	32,549	-	42,406237	289	19,544	P4 - 2.8	
05	89,954	-0,055	28,219	-	25,758448	255	19,704	P4 - 2.8	
06									
07									
08									
09									
10									
Mínimo	89,954	-0,168	28,219	-	25,758448	255	19,367	-	
Máximo	89,954	-0,020	32,549	-	42,406237	289	19,704	-	
Média <sub>Sem Erros</sub>	89,954	-	31,586	-	38,141027	280	19,429	-	
Comentário:	O teste das taxas de recombinação e mutação apresenta não-conformidades nos resultados, devido a erros de baixos valores de RSL. Novamente, o pequeno valor da taxa de mutação (1%) produz resultados sem erros de apontamento, mas com erros de RSL e valores de Aptidão e Convergência piores, em média, que aqueles produzidos no teste F. Juntado isso ao fato desta pequena taxa de mutação tornar o algoritmo muito suscetível à convergência prematura, opta-se por continuar considerando o teste F como o de melhor resultado. Com isso, sugere-se aumentar a taxa de recombinação em 10, com respeito à taxa do teste D, verificando frente às taxas de mutação já utilizadas.								

Otimização de Arranjos de Antenas com Algoritmos Genéticos - O3AG								Versão:	1.1
Teste:	H - Taxas de Recombinação e Mutação			Arquivo:	o3ag_v1.1.sci		Data:	23/11/05	
Tipo de Antenas:	Isotrópica	Nº de Elem.:	40	Espaçam.:	$\lambda / 4$	Teta <sub>o</sub> (°) =	90,000		
Teta <sub>1</sub> min (°) =	-	Teta <sub>2</sub> max (°) =	-	RSL (dB) >=	30,000	RMI <sub>min</sub> (dB) >=   RMM (Adm) =	-		
Tam. Pop. =	100	Recomb. =	40,00%	Mutação =	25,00%	Fator de Dilatação =	0,05		
Simulação Nº	Teta (°)	Beta (°)	RSL (dB)	RMI <sub>min</sub>   RMM (dB   Adm)	Aptidão (Adm)	Converg. (Gerações)	Tempo (minutos)	CPU - Clock (GHz)	
01	89,954	-0,127	33,093	-	45,145041	183	59,656	P4 - 2.8	
02	89,954	-0,035	34,941	-	55,850490	290	59,472	P4 - 2.8	
03	89,954	0,166	33,516	-	47,395140	231	61,719	P4 - 2.8	
04	89,954	0,183	34,077	-	50,561936	296	63,538	P4 - 2.8	
05	89,954	-0,030	29,834	-	31,021340	159	60,221	P4 - 2.8	
06									
07									
08									
09									
10									
Mínimo	89,954	-0,127	29,834	-	31,021340	159	59,472	-	
Máximo	89,954	0,183	34,941	-	55,850490	296	63,538	-	
Média <sub>Sem Erros</sub>	89,954	-	33,907	-	49,738152	250	61,096	-	
Comentário:	O teste das taxas de recombinação e mutação apresenta não-conformidades nos resultados, devido a um erro de baixo valor de RSL. Em média, os valores de Aptidão e Convergência ficaram muito próximos daqueles produzidos no teste F, além de não haver erros de apontamento e apenas um valor baixo de RSL, o que faz este teste ser escolhido como o melhor resultado. Sugere-se diminuir a taxa de mutação para verificar os resultados.								

Otimização de Arranjos de Antenas com Algoritmos Genéticos - O3AG								Versão:	1.1
Teste:	I - Taxas de Recombinação e Mutação			Arquivo:	o3ag_v1.1.sci		Data:	23/11/05	
Tipo de Antenas:	Isotrópica	Nº de Elem.:	40	Espaçam.:	$\lambda / 4$	Teta <sub>0</sub> (°) =	90,000		
Teta <sub>1 1min</sub> (°) =	-	Teta <sub>2 2máx</sub> (°) =	-	RSL (dB) >=	30,000	RMI <sub>min</sub> (dB) >=   RMM (Adm) =	-		
Tam. Pop. =	100	Recomb. =	40,00%	Mutação =	15,00%	Fator de Dilatação =	0,05		
Simulação Nº	Teta (°)	Beta (°)	RSL (dB)	RMI <sub>min</sub>   RMM (dB   Adm)	Aptidão (Adm)	Converg. (Gerações)	Tempo (minutos)	CPU - Clock (GHz)	
01	89,954	-0,035	32,515	-	42,239808	299	50,394	P4 - 2.8	
02	89,954	-0,035	34,500	-	53,081942	297	50,436	P4 - 2.8	
03	89,954	0,076	33,381	-	46,664708	168	50,372	P4 - 2.8	
04	89,954	-0,032	36,396	-	66,033205	296	50,412	P4 - 2.8	
05	89,381	179,336	34,174	-	50,170793	138	50,432	P4 - 2.8	
06									
07									
08									
09									
10									
<b>Mínimo</b>	<b>89,381</b>	<b>-0,035</b>	<b>32,515</b>	<b>-</b>	<b>42,239808</b>	<b>138</b>	<b>50,372</b>	<b>-</b>	
<b>Máximo</b>	<b>89,954</b>	<b>179,336</b>	<b>36,396</b>	<b>-</b>	<b>66,033205</b>	<b>299</b>	<b>50,436</b>	<b>-</b>	
<b>Média<sub>Sem Erros</sub></b>	<b>89,954</b>	<b>-</b>	<b>34,198</b>	<b>-</b>	<b>52,004916</b>	<b>265</b>	<b>50,403</b>	<b>-</b>	
<b>Comentário:</b>	O teste das taxas de recombinação e mutação apresenta não-conformidades nos resultados, devido a um erro de apontamento. Com isso, continua-se a optar pelo teste H e sugere-se diminuir novamente a taxa de mutação para verificar os resultados.								

Otimização de Arranjos de Antenas com Algoritmos Genéticos - O3AG								Versão:	1.1
Teste:	J - Taxas de Recombinação e Mutação			Arquivo:	o3ag_v1.1.sci		Data:	23/11/05	
Tipo de Antenas:	Isotrópica	Nº de Elem.:	40	Espaçam.:	$\lambda / 4$	Teta <sub>0</sub> (°) =	90,000		
Teta <sub>1 1min</sub> (°) =	-	Teta <sub>2 2máx</sub> (°) =	-	RSL (dB) >=	30,000	RMI <sub>min</sub> (dB) >=   RMM (Adm) =	-		
Tam. Pop. =	100	Recomb. =	40,00%	Mutação =	1,00%	Fator de Dilatação =	0,05		
Simulação Nº	Teta (°)	Beta (°)	RSL (dB)	RMI <sub>min</sub>   RMM (dB   Adm)	Aptidão (Adm)	Converg. (Gerações)	Tempo (minutos)	CPU - Clock (GHz)	
01	89,954	-0,035	34,131	-	50,872610	283	37,626	P4 - 2.8	
02	89,954	-0,035	31,326	-	36,833095	296	37,605	P4 - 2.8	
03	89,954	-0,028	28,678	-	27,156750	299	37,585	P4 - 2.8	
04	89,954	0,177	32,583	-	42,569208	294	37,636	P4 - 2.8	
05	89,954	-0,246	34,593	-	53,652801	287	37,640	P4 - 2.8	
06									
07									
08									
09									
10									
<b>Mínimo</b>	<b>89,954</b>	<b>-0,246</b>	<b>28,678</b>	<b>-</b>	<b>27,156750</b>	<b>283</b>	<b>37,585</b>	<b>-</b>	
<b>Máximo</b>	<b>89,954</b>	<b>0,177</b>	<b>34,593</b>	<b>-</b>	<b>53,652801</b>	<b>299</b>	<b>37,640</b>	<b>-</b>	
<b>Média<sub>Sem Erros</sub></b>	<b>89,954</b>	<b>-</b>	<b>33,158</b>	<b>-</b>	<b>45,981929</b>	<b>290</b>	<b>37,627</b>	<b>-</b>	
<b>Comentário:</b>	O teste das taxas de recombinação e mutação apresenta não-conformidades nos resultados, devido a um erro de baixo valor de RSL. Mais uma vez, o pequeno valor da taxa de mutação (1%) produz resultados sem erros de apontamento, mas com erro de RSL e valores de Aptidão e Convergência piores, em média, que aqueles produzidos no teste H. Com isso, continua-se a optar pelo teste H e sugere-se diminuir a taxa de recombinação para 35%, testando-a com os valores já conhecidos de taxa de mutação e verificando os resultados.								

Otimização de Arranjos de Antenas com Algoritmos Genéticos - O3AG								Versão:	1.1
Teste:	K - Taxas de Recombinação e Mutação			Arquivo:	o3ag_v1.1.sci		Data:	24/11/05	
Tipo de Antenas:	Isotrópica	Nº de Elem.:	40	Espaçam.:	$\lambda / 4$	Teta <sub>0</sub> (°) =	90,000		
Teta <sub>1 1min</sub> (°) =	-	Teta <sub>2 2máx</sub> (°) =	-	RSL (dB) >=	30,000	RMI <sub>min</sub> (dB) >=   RMM (Adm) =	-		
Tam. Pop. =	100	Recomb. =	35,00%	Mutação =	25,00%	Fator de Dilatação =	0,05		
Simulação Nº	Teta (°)	Beta (°)	RSL (dB)	RMI <sub>min</sub>   RMM (dB   Adm)	Aptidão (Adm)	Converg. (Gerações)	Tempo (minutos)	CPU - Clock (GHz)	
01	89,527	0,464	32,607	-	42,107646	249	54,983	P4 - 2.8	
02	89,954	-0,030	32,150	-	40,498337	298	54,937	P4 - 2.8	
03	89,954	0,166	34,976	-	56,073612	287	54,975	P4 - 2.8	
04	89,954	-0,053	34,243	-	51,533020	277	54,980	P4 - 2.8	
05	89,954	-0,037	34,558	-	53,441500	290	54,964	P4 - 2.8	
06									
07									
08									
09									
10									
<b>Mínimo</b>	<b>89,527</b>	<b>-0,053</b>	<b>32,150</b>	<b>-</b>	<b>40,498337</b>	<b>249</b>	<b>54,937</b>	<b>-</b>	
<b>Máximo</b>	<b>90,527</b>	<b>0,464</b>	<b>34,976</b>	<b>-</b>	<b>56,073612</b>	<b>298</b>	<b>54,983</b>	<b>-</b>	
<b>Média<sub>Sem Erros</sub></b>	<b>89,954</b>	<b>-</b>	<b>33,982</b>	<b>-</b>	<b>50,386617</b>	<b>288</b>	<b>54,964</b>	<b>-</b>	
<b>Comentário:</b>	O teste das taxas de recombinação e mutação apresenta não-conformidades nos resultados, devido a um erro de apontamento. Com isso, continua-se a optar pelo teste H e sugere-se diminuir a taxa de mutação para verificar os resultados.								

Otimização de Arranjos de Antenas com Algoritmos Genéticos - O3AG								Versão:	1.1
Teste:	L - Taxas de Recombinação e Mutação			Arquivo:	o3ag_v1.1.sci		Data:	24/11/05	
Tipo de Antenas:	Isotrópica	Nº de Elem.:	40	Espaçam.:	$\lambda / 4$	Teta <sub>0</sub> (°) =	90,000		
Teta <sub>1 1min</sub> (°) =	-	Teta <sub>2 2máx</sub> (°) =	-	RSL (dB) >=	30,000	RMI <sub>min</sub> (dB) >=   RMM (Adm) =	-		
Tam. Pop. =	100	Recomb. =	35,00%	Mutação =	15,00%	Fator de Dilatação =	0,05		
Simulação Nº	Teta (°)	Beta (°)	RSL (dB)	RMI <sub>min</sub>   RMM (dB   Adm)	Aptidão (Adm)	Converg. (Gerações)	Tempo (minutos)	CPU - Clock (GHz)	
01	89,954	-0,028	35,098	-	56,864522	297	45,879	P4 - 2.8	
02	89,954	0,159	31,725	-	38,564888	294	45,770	P4 - 2.8	
03	89,954	-0,032	33,500	-	47,309412	176	45,765	P4 - 2.8	
04	89,954	-0,233	31,718	-	38,535634	296	45,753	P4 - 2.8	
05	89,954	-0,025	34,144	-	50,952282	290	45,785	P4 - 2.8	
06	89,954	-0,016	34,577	-	53,553358	297	45,783	P4 - 2.8	
07	89,954	0,207	33,963	-	49,223597	252	45,772	P4 - 2.8	
08	89,954	0,009	33,771	-	48,810506	184	45,790	P4 - 2.8	
09	89,954	0,034	33,897	-	49,520406	218	45,761	P4 - 2.8	
10	89,954	0,022	38,072	-	80,084408	180	45,789	P4 - 2.8	
<b>Mínimo</b>	<b>89,954</b>	<b>-0,233</b>	<b>31,718</b>	-	<b>38,535634</b>	<b>176</b>	<b>45,753</b>	-	
<b>Máximo</b>	<b>90,527</b>	<b>0,207</b>	<b>38,072</b>	-	<b>80,084408</b>	<b>297</b>	<b>45,879</b>	-	
<b>Média<sub>Sem Erros</sub></b>	<b>89,954</b>	<b>-</b>	<b>34,056</b>	-	<b>51,577268</b>	<b>248</b>	<b>45,786</b>	-	
<b>Comentário:</b>	O teste das taxas de recombinação e mutação apresenta não-conformidades nos resultados, devido a um erro de apontamento. Porém, foram feitos 10 testes para comprovar a capacidade de reproduzir os resultados, sendo que só ocorreu um erro, ao passo que os valores médios de RSL, Aptidão e Gerações para a Convergência são melhores que aqueles do teste H e o tempo de processamento ainda é menor, o que faz adotar este teste como o de melhor resultado. Sugere-se verificar uma nova diminuição da taxa de mutação. Ressalta-se o excelente resultado obtido na última simulação, com uma aptidão maior que 80 e um RSL superior a 38 dB.								

Otimização de Arranjos de Antenas com Algoritmos Genéticos - O3AG								Versão:	1.1
Teste:	M - Taxas de Recombinação e Mutação			Arquivo:	o3ag_v1.1.sci		Data:	24/11/05	
Tipo de Antenas:	Isotrópica	Nº de Elem.:	40	Espaçam.:	$\lambda / 4$	Teta <sub>0</sub> (°) =	90,000		
Teta <sub>1 1min</sub> (°) =	-	Teta <sub>2 2máx</sub> (°) =	-	RSL (dB) >=	30,000	RMI <sub>min</sub> (dB) >=   RMM (Adm) =	-		
Tam. Pop. =	100	Recomb. =	35,00%	Mutação =	1,00%	Fator de Dilatação =	0,05		
Simulação Nº	Teta (°)	Beta (°)	RSL (dB)	RMI <sub>min</sub>   RMM (dB   Adm)	Aptidão (Adm)	Converg. (Gerações)	Tempo (minutos)	CPU - Clock (GHz)	
01	89,954	-0,021	33,513	-	47,380644	154	33,217	P4 - 2.8	
02	89,954	-0,035	32,704	-	43,165820	293	33,197	P4 - 2.8	
03	89,954	-0,032	29,578	-	30,120429	293	33,195	P4 - 2.8	
04	89,954	-0,032	28,804	-	27,541064	295	33,204	P4 - 2.8	
05	89,954	179,827	29,254	-	29,015641	246	33,199	P4 - 2.8	
06								P4 - 2.8	
07								P4 - 2.8	
08								P4 - 2.8	
09								P4 - 2.8	
10								P4 - 2.8	
<b>Mínimo</b>	<b>89,954</b>	<b>-0,035</b>	<b>28,801</b>	-	<b>27,541064</b>	<b>154</b>	<b>33,195</b>	-	
<b>Máximo</b>	<b>89,954</b>	<b>179,827</b>	<b>33,513</b>	-	<b>47,380644</b>	<b>295</b>	<b>33,217</b>	-	
<b>Média<sub>Sem Erros</sub></b>	<b>89,954</b>	<b>-</b>	<b>33,108</b>	-	<b>45,273232</b>	<b>224</b>	<b>33,207</b>	-	
<b>Comentário:</b>	O teste das taxas de recombinação e mutação apresenta não-conformidades nos resultados, devido a erros de baixos valores de RSL. Outra vez, o pequeno valor da taxa de mutação (1%) produz resultados sem erros de apontamento, mas há vários erros de RSL e a pequena taxa de mutação pode tornar o algoritmo muito suscetível à convergência prematura, de modo que continua-se a optar pelo teste L como o de melhor resultado. Com isso, sugere-se alterar para 10% a taxa de mutação, de modo a verificar os resultados.								

Otimização de Arranjos de Antenas com Algoritmos Genéticos - O3AG								Versão:	1.1
Teste:	N - Taxas de Recombinação e Mutação			Arquivo:	o3ag_v1.1.sci		Data:	25/11/05	
Tipo de Antenas:	Isotrópica	Nº de Elem.:	40	Espaçam.:	$\lambda / 4$	Teta <sub>0</sub> (°) =	90,000		
Teta <sub>1 1min</sub> (°) =	-	Teta <sub>2 2máx</sub> (°) =	-	RSL (dB) >=	30,000	RMI <sub>min</sub> (dB) >=   RMM (Adm) =	-		
Tam. Pop. =	100	Recomb. =	35,00%	Mutação =	10,00%	Fator de Dilatação =	0,05		
Simulação Nº	Teta (°)	Beta (°)	RSL (dB)	RMI <sub>min</sub>   RMM (dB   Adm)	Aptidão (Adm)	Converg. (Gerações)	Tempo (minutos)	CPU - Clock (GHz)	
01	89,954	0,116	34,187	-	51,205822	226	41,466	P4 - 2.8	
02	89,954	-0,144	33,031	-	44,823137	236	41,307	P4 - 2.8	
03	89,954	-0,035	37,983	-	79,269087	266	41,280	P4 - 2.8	
04	89,954	-179,909	31,049	-	35,679427	245	41,252	P4 - 2.8	
05	89,954	-0,203	34,157	-	51,029262	161	41,281	P4 - 2.8	
06	89,954	0,031	34,142	-	50,941565	173	41,273	P4 - 2.8	
07	89,954	-0,035	34,842	-	55,212900	300	41,278	P4 - 2.8	
08	89,954	0,142	31,815	-	38,967739	234	41,254	P4 - 2.8	
09	89,954	-0,034	35,676	-	60,781853	217	41,286	P4 - 2.8	
10	89,954	-0,092	36,180	-	57,402501	214	41,280	P4 - 2.8	
<b>Mínimo</b>	<b>89,954</b>	<b>-179,909</b>	<b>31,049</b>	-	<b>35,679427</b>	<b>161</b>	<b>41,252</b>	-	
<b>Máximo</b>	<b>89,954</b>	<b>0,142</b>	<b>37,983</b>	-	<b>79,269087</b>	<b>300</b>	<b>41,466</b>	-	
<b>Média<sub>Sem Erros</sub></b>	<b>89,954</b>	<b>-</b>	<b>34,206</b>	-	<b>52,531329</b>	<b>227</b>	<b>41,296</b>	-	
<b>Comentário:</b>	O teste das taxas de recombinação e mutação não apresenta erros nos resultados. Estes são bastante superiores àqueles do teste L, com a vantagem do menor tempo de processamento, de maneira a adotar este teste como o de melhor resultado. Observe-se que, novamente, foram feitos 10 testes para comprovar a capacidade de reproduzir os resultados. Sugere-se diminuir a taxa de mutação para 5% para verificação. Vale a pena salientar o excepcional resultado obtido na simulação 03, com uma aptidão maior que 79 e um RSL superior a 37 dB.								

Otimização de Arranjos de Antenas com Algoritmos Genéticos - O3AG							Versão:	1.1
Teste:	O - Taxas de Recombinação e Mutação			Arquivo:	o3ag_v1.1.sci		Data:	25/11/05
Tipo de Antenas:	Isotrópica	Nº de Elem.:	40	Espaçam.:	$\lambda / 4$	Teta <sub>o</sub> (°) =	90,000	
Teta <sub>1 1min</sub> (°) =	-	Teta <sub>2 2máx</sub> (°) =	-	RSL (dB) >=	30,000	RMI <sub>min</sub> (dB) >=   RMM (Adm) =	-	
Tam. Pop. =	100	Recomb. =	35,00%	Mutação =	5,00%	Fator de Dilatação =	0,05	
Simulação Nº	Teta (°)	Beta (°)	RSL (dB)	RMI <sub>min</sub>   RMM (dB   Adm)	Aptidão (Adm)	Converg. (Gerações)	Tempo (minutos)	CPU - Clock (GHz)
01	89,954	0,000	29,593	-	30,172541	268	37,007	P4 - 2.8
02	89,954	-0,243	33,457	-	47,075120	299	36,940	P4 - 2.8
03	89,954	-0,034	32,686	-	43,078675	136	36,821	P4 - 2.8
04	89,954	-0,029	34,022	-	50,242080	300	36,883	P4 - 2.8
05	89,954	-0,035	34,410	-	52,537248	299	36,887	P4 - 2.8
06	90,527	0,409	34,715	-	53,674050	108	36,896	P4 - 2.8
07	89,954	0,001	27,694	-	22,473240	284	36,784	P4 - 2.8
08	89,954	-0,035	30,713	-	34,324304	268	36,905	P4 - 2.8
09	89,954	-0,031	31,676	-	38,349173	234	36,909	P4 - 2.8
10	89,954	-0,032	36,935	-	70,258235	273	36,945	P4 - 2.8
<b>Mínimo</b>	<b>89,954</b>	<b>-0,243</b>	<b>27,034</b>	<b>-</b>	<b>22,473240</b>	<b>108</b>	<b>36,784</b>	<b>-</b>
<b>Máximo</b>	<b>90,527</b>	<b>0,409</b>	<b>36,935</b>	<b>-</b>	<b>70,258235</b>	<b>300</b>	<b>37,007</b>	<b>-</b>
<b>Média<sub>Sem Erros</sub></b>	<b>89,954</b>	<b>-</b>	<b>33,414</b>	<b>-</b>	<b>47,980691</b>	<b>258</b>	<b>36,898</b>	<b>-</b>
<b>Comentário:</b>	O teste das taxas de recombinação e mutação apresenta não-conformidades nos resultados, devido a um erro de apontamento e erros de baixos valores de RSL. Com isso, os resultados foram inferiores àqueles do teste N.							

Otimização de Arranjos de Antenas com Algoritmos Genéticos - O3AG							Versão:	1.1
Teste:	P - Fator de Dilatação			Arquivo:	o3ag_v1.1.sci		Data:	26/11/05
Tipo de Antenas:	Isotrópica	Nº de Elem.:	40	Espaçam.:	$\lambda / 4$	Teta <sub>o</sub> (°) =	90,000	
Teta <sub>1 1min</sub> (°) =	-	Teta <sub>2 2máx</sub> (°) =	-	RSL (dB) >=	30,000	RMI <sub>min</sub> (dB) >=   RMM (Adm) =	-	
Tam. Pop. =	100	Recomb. =	35,00%	Mutação =	10,00%	Fator de Dilatação =	0,01	
Simulação Nº	Teta (°)	Beta (°)	RSL (dB)	RMI <sub>min</sub>   RMM (dB   Adm)	Aptidão (Adm)	Converg. (Gerações)	Tempo (minutos)	CPU - Clock (GHz)
01	89,954	-0,034	31,647	-	38,223153	297	41,407	P4 - 2.8
02	89,954	-0,035	31,597	-	38,006536	295	41,433	P4 - 2.8
03	94,499	0,825	35,055	-	55,913147	204	41,416	P4 - 2.8
04	89,954	0,177	33,268	-	46,064984	284	41,397	P4 - 2.8
05	89,954	-0,245	33,912	-	49,612565	299	41,412	P4 - 2.8
06	89,954	-0,034	32,597	-	42,643486	296	41,419	P4 - 2.8
07	89,954	-0,188	31,052	-	35,691815	109	41,419	P4 - 2.8
08	89,954	-0,165	30,403	-	33,124808	119	41,395	P4 - 2.8
09	89,954	0,151	34,748	-	54,623733	167	41,550	P4 - 2.8
10	89,954	-0,217	34,503	-	53,103105	204	41,435	P4 - 2.8
<b>Mínimo</b>	<b>89,954</b>	<b>-0,245</b>	<b>30,403</b>	<b>-</b>	<b>33,124808</b>	<b>109</b>	<b>41,395</b>	<b>-</b>
<b>Máximo</b>	<b>91,100</b>	<b>0,825</b>	<b>35,055</b>	<b>-</b>	<b>55,913147</b>	<b>299</b>	<b>41,550</b>	<b>-</b>
<b>Média<sub>Sem Erros</sub></b>	<b>89,954</b>	<b>-</b>	<b>32,636</b>	<b>-</b>	<b>43,454909</b>	<b>230</b>	<b>41,430</b>	<b>-</b>
<b>Comentário:</b>	O teste de fator de dilatação apresenta não-conformidades nos resultados, devido a um erro de apontamento. O fator de dilatação usado nos testes de B a O foi Kp = 0,05, valor baseado na literatura. Agora, conhecendo as taxas de recombinação e mutação, deve-se analisar o melhor valor para o Kp. Este teste analisou Kp = 0,01, para as taxas do teste N, sendo obtidos resultados inferiores. Para verificar novos resultados, sugere-se aumentar progressivamente o valor de Kp, com base em multiplicações por 10 dos fatores já utilizados (10x0,01, 10x0,05, 10²x0,01, 10²x0,05 e 10³x0,01).							

Otimização de Arranjos de Antenas com Algoritmos Genéticos - O3AG							Versão:	1.1
Teste:	Q - Fator de Dilatação			Arquivo:	o3ag_v1.1.sci		Data:	29/11/05
Tipo de Antenas:	Isotrópica	Nº de Elem.:	40	Espaçam.:	$\lambda / 4$	Teta <sub>o</sub> (°) =	90,000	
Teta <sub>1 1min</sub> (°) =	-	Teta <sub>2 2máx</sub> (°) =	-	RSL (dB) >=	30,000	RMI <sub>min</sub> (dB) >=   RMM (Adm) =	-	
Tam. Pop. =	100	Recomb. =	35,00%	Mutação =	10,00%	Fator de Dilatação =	0,10	
Simulação Nº	Teta (°)	Beta (°)	RSL (dB)	RMI <sub>min</sub>   RMM (dB   Adm)	Aptidão (Adm)	Converg. (Gerações)	Tempo (minutos)	CPU - Clock (GHz)
01	89,954	179,835	32,075	-	40,148213	133	41,409	P4 - 2.8
02	89,954	0,049	33,524	-	47,433609	266	41,456	P4 - 2.8
03	89,954	-0,035	29,334	-	29,272116	297	41,382	P4 - 2.8
04	89,954	-0,034	30,471	-	33,376219	299	41,383	P4 - 2.8
05	89,954	-0,025	33,803	-	48,985044	299	41,437	P4 - 2.8
06	89,954	-0,035	34,992	-	56,170182	291	41,435	P4 - 2.8
07	89,954	179,909	32,320	-	41,297285	137	41,413	P4 - 2.8
08	89,954	-0,030	30,178	-	32,269127	296	41,396	P4 - 2.8
09	89,954	-0,032	32,555	-	42,428606	297	41,391	P4 - 2.8
10	89,954	0,175	32,340	-	41,389264	292	41,416	P4 - 2.8
<b>Mínimo</b>	<b>89,954</b>	<b>-0,035</b>	<b>29,331</b>	<b>-</b>	<b>29,272116</b>	<b>133</b>	<b>41,382</b>	<b>-</b>
<b>Máximo</b>	<b>89,954</b>	<b>179,909</b>	<b>34,992</b>	<b>-</b>	<b>56,170182</b>	<b>299</b>	<b>41,456</b>	<b>-</b>
<b>Média<sub>Sem Erros</sub></b>	<b>89,954</b>	<b>-</b>	<b>32,473</b>	<b>-</b>	<b>42,610839</b>	<b>257</b>	<b>41,415</b>	<b>-</b>
<b>Comentário:</b>	O teste de fator de dilatação apresenta não-conformidades nos resultados, devido a um erro de baixo valor de RSL. Este teste analisou Kp = 0,1, para as taxas do teste N, sendo obtidos resultados inferiores. Para verificar novos resultados, sugere-se continuar aumentando progressivamente o valor de Kp, com base em multiplicações por 10 dos fatores já utilizados.							

Otimização de Arranjos de Antenas com Algoritmos Genéticos - O3AG								Versão:	1.1
Teste:	R - Fator de Dilatação			Arquivo:	o3ag_v1.1.sci		Data:	30/11/05	
Tipo de Antenas:	Isotrópica	Nº de Elem.:	40	Espaçam.:	$\lambda / 4$	Teta <sub>o</sub> (°) =	90,000		
Teta <sub>1 1min</sub> (°) =	-	Teta <sub>2 máx</sub> (°) =	-	RSL (dB) >=	30,000	RMI <sub>min</sub> (dB) >=   RMM (Adm) =	-		
Tam. Pop. =	100	Recomb. =	35,00%	Mutação =	10,00%	Fator de Dilatação =	0,50		
Simulação Nº	Teta (°)	Beta (°)	RSL (dB)	RMI <sub>min</sub>   RMM (dB   Adm)	Aptidão (Adm)	Converg. (Gerações)	Tempo (minutos)	CPU - Clock (GHz)	
01	89,954	-0,002	33,691	-	48,314096	185	41,616	P4 - 2.8	
02	89,954	-0,034	33,025	-	44,749933	299	41,637	P4 - 2.8	
03	89,954	0,034	32,532	-	42,279988	281	41,365	P4 - 2.8	
04	89,954	-0,023	30,725	-	34,338158	298	41,356	P4 - 2.8	
05	89,954	-0,035	33,165	-	45,475316	298	41,371	P4 - 2.8	
06	89,954	-0,020	31,429	-	37,239503	296	41,384	P4 - 2.8	
07	89,954	-0,018	32,893	-	44,075103	299	41,394	P4 - 2.8	
08	89,954	-0,028	32,420	-	41,739531	209	41,387	P4 - 2.8	
09	89,954	-179,834	34,384	-	52,332377	300	41,481	P4 - 2.8	
10	89,954	0,088	30,759	-	34,473233	241	41,446	P4 - 2.8	
<b>Mínimo</b>	<b>89,954</b>	<b>-179,834</b>	<b>30,725</b>	-	<b>34,338158</b>	<b>185</b>	<b>41,356</b>	-	
<b>Máximo</b>	<b>89,954</b>	<b>0,088</b>	<b>34,384</b>	-	<b>52,332377</b>	<b>300</b>	<b>41,637</b>	-	
<b>Média<sub>Sem Erros</sub></b>	<b>89,954</b>	-	<b>32,502</b>	-	<b>42,501724</b>	<b>271</b>	<b>41,444</b>	-	
<b>Comentário:</b>	O teste de fator de dilatação não apresenta erros nos resultados. Este teste analisou Kp = 0,5, para as taxas do teste N. Mesmo não havendo erros, os resultados obtidos são inferiores àqueles do teste N quanto aos valores médios de RSL, Aptidão e Gerações para a Convergência. Para verificar novos resultados, sugere-se continuar aumentando progressivamente o valor de Kp.								

Otimização de Arranjos de Antenas com Algoritmos Genéticos - O3AG								Versão:	1.1
Teste:	S - Fator de Dilatação			Arquivo:	o3ag_v1.1.sci		Data:	01/12/05	
Tipo de Antenas:	Isotrópica	Nº de Elem.:	40	Espaçam.:	$\lambda / 4$	Teta <sub>o</sub> (°) =	90,000		
Teta <sub>1 1min</sub> (°) =	-	Teta <sub>2 máx</sub> (°) =	-	RSL (dB) >=	30,000	RMI <sub>min</sub> (dB) >=   RMM (Adm) =	-		
Tam. Pop. =	100	Recomb. =	35,00%	Mutação =	10,00%	Fator de Dilatação =	1,00		
Simulação Nº	Teta (°)	Beta (°)	RSL (dB)	RMI <sub>min</sub>   RMM (dB   Adm)	Aptidão (Adm)	Converg. (Gerações)	Tempo (minutos)	CPU - Clock (GHz)	
01	89,954	-0,040	34,651	-	53,906972	288	138,258	Celeron - 1.0	
02	89,954	-0,134	30,783	-	34,532396	266	138,301	Celeron - 1.0	
03	89,954	-0,090	33,485	-	47,134573	167	41,479	P4 - 2.8	
04	89,954	-179,909	30,969	-	35,280849	134	41,485	P4 - 2.8	
05	89,954	-0,011	31,927	-	39,395589	169	41,428	P4 - 2.8	
06	89,954	-0,019	31,350	-	36,863337	150	41,428	P4 - 2.8	
07	89,954	0,000	30,636	-	33,955421	160	41,457	P4 - 2.8	
08	89,954	-0,094	32,096	-	40,169497	297	41,444	P4 - 2.8	
09	89,954	-0,035	32,184	-	40,577933	299	41,439	P4 - 2.8	
10	89,954	0,110	31,172	-	36,114802	165	41,453	P4 - 2.8	
<b>Mínimo</b>	<b>89,954</b>	<b>-179,909</b>	<b>30,636</b>	-	<b>33,955421</b>	<b>134</b>	<b>41,428</b>	-	
<b>Máximo</b>	<b>89,954</b>	<b>0,110</b>	<b>34,651</b>	-	<b>53,906972</b>	<b>299</b>	<b>138,301</b>	-	
<b>Média<sub>Sem Erros</sub></b>	<b>89,954</b>	-	<b>31,925</b>	-	<b>39,793137</b>	<b>209</b>	<b>60,817</b>	-	
<b>Comentário:</b>	O teste de fator de dilatação não apresenta erros nos resultados. Este teste analisou Kp = 1, para as taxas do teste N, com resultados inferiores de RSL e Aptidão, apenas com um número menor de Gerações para a Convergência. Para verificar novos resultados, sugere-se continuar o acréscimo progressivo para o valor de Kp.								

Otimização de Arranjos de Antenas com Algoritmos Genéticos - O3AG								Versão:	1.1
Teste:	T - Fator de Dilatação			Arquivo:	o3ag_v1.1.sci		Data:	02/12/05	
Tipo de Antenas:	Isotrópica	Nº de Elem.:	40	Espaçam.:	$\lambda / 4$	Teta <sub>o</sub> (°) =	90,000		
Teta <sub>1 1min</sub> (°) =	-	Teta <sub>2 máx</sub> (°) =	-	RSL (dB) >=	30,000	RMI <sub>min</sub> (dB) >=   RMM (Adm) =	-		
Tam. Pop. =	100	Recomb. =	35,00%	Mutação =	10,00%	Fator de Dilatação =	5,00		
Simulação Nº	Teta (°)	Beta (°)	RSL (dB)	RMI <sub>min</sub>   RMM (dB   Adm)	Aptidão (Adm)	Converg. (Gerações)	Tempo (minutos)	CPU - Clock (GHz)	
01	89,954	-0,051	33,277	-	45,640468	298	41,468	P4 - 2.8	
02	89,954	-0,032	32,371	-	41,119286	242	41,498	P4 - 2.8	
03	89,954	-0,026	33,789	-	48,411437	132	41,472	P4 - 2.8	
04	89,954	-0,030	33,441	-	46,510017	155	41,383	P4 - 2.8	
05	89,954	-0,121	33,050	-	44,461250	173	41,421	P4 - 2.8	
06	89,954	-0,001	33,157	-	45,012892	298	41,388	P4 - 2.8	
07	89,954	-0,033	34,126	-	50,328199	216	41,394	P4 - 2.8	
08	89,954	0,064	31,067	-	35,387036	165	41,400	P4 - 2.8	
09	89,954	-0,030	35,169	-	56,746852	264	41,427	P4 - 2.8	
10	89,954	-0,139	32,246	-	40,534165	214	41,435	P4 - 2.8	
<b>Mínimo</b>	<b>89,954</b>	<b>-0,139</b>	<b>31,067</b>	-	<b>35,387036</b>	<b>132</b>	<b>41,383</b>	-	
<b>Máximo</b>	<b>89,954</b>	<b>0,064</b>	<b>35,169</b>	-	<b>56,746852</b>	<b>298</b>	<b>41,498</b>	-	
<b>Média<sub>Sem Erros</sub></b>	<b>89,954</b>	-	<b>33,169</b>	-	<b>45,415160</b>	<b>216</b>	<b>41,428</b>	-	
<b>Comentário:</b>	O teste de fator de dilatação não apresenta erros nos resultados. Este teste analisou Kp = 5, para as taxas do teste N, sendo novamente obtidos resultados inferiores de RSL e Aptidão, somente com um número menor de Gerações para a Convergência. Para verificar novos resultados, sugere-se aumentar mais uma vez o valor de Kp, fazendo Kp = 10.								

Otimização de Arranjos de Antenas com Algoritmos Genéticos - O3AG							Versão:	1.1
Teste:	U - Fator de Dilatação			Arquivo:	o3ag_v1.1.sci		Data:	03/12/05
Tipo de Antenas:	Isotrópica	Nº de Elem.:	40	Espaçam.:	$\lambda / 4$	Teta <sub>o</sub> (°) =	90,000	
Teta <sub>1 1min</sub> (°) =	-	Teta <sub>2 2máx</sub> (°) =	-	RSSL (dB) >=	30,000	RMI <sub>min</sub> (dB) >=   RMM (Adm) =	-	
Tam. Pop. =	100	Recomb. =	35,00%	Mutação =	10,00%	Fator de Dilatação =	10,00	
Simulação Nº	Teta (°)	Beta (°)	RSSL (dB)	RMI <sub>min</sub>   RMM (dB   Adm)	Aptidão (Adm)	Converg. (Gerações)	Tempo (minutos)	CPU - Clock (GHz)
01	89,954	-0,104	34,630	-	52,789967	205	41,416	P4 - 2.8
02	89,954	-0,120	33,944	-	48,781662	281	41,377	P4 - 2.8
03	89,954	-0,024	34,458	-	51,753776	288	41,424	P4 - 2.8
04	89,954	57,869	49,499	-	9,246855	256	41,387	P4 - 2.8
05	89,954	-0,066	35,888	-	61,018512	269	41,444	P4 - 2.8
06	89,954	-0,034	29,992	-	27,903804	169	41,422	P4 - 2.8
07	89,954	-0,147	31,968	-	38,853610	299	-	P4 - 2.8
08	89,954	-0,033	31,971	-	38,870610	215	-	P4 - 2.8
09	89,954	0,149	31,228	-	35,680527	225	-	P4 - 2.8
10	89,954	-0,012	33,018	-	43,846724	216	-	P4 - 2.8
<b>Mínimo</b>	<b>89,954</b>	<b>-0,147</b>	<b>19,499</b>	-	<b>9,246855</b>	<b>169</b>	<b>41,377</b>	-
<b>Máximo</b>	<b>89,954</b>	<b>57,869</b>	<b>35,888</b>	-	<b>61,018512</b>	<b>299</b>	<b>41,444</b>	-
<b>Média<sub>Sem Erros</sub></b>	<b>89,954</b>	-	<b>33,388</b>	-	<b>46,449424</b>	<b>250</b>	<b>41,415</b>	-
<b>Comentário:</b>	O teste de fator de dilatação apresenta não-conformidades nos resultados, devido a erros de baixos valores de RSSL. Este teste analisou Kp = 10, para as taxas do teste N, sendo obtidos resultados inferiores novamente. Os testes de P a U variaram Kp de 0,01 até 10, ratificando como melhores os resultados do teste N, com Kp = 0,05, valor próximo ao sugerido na literatura. Valores menores tomam o AG sujeito a erros de apontamento e maiores tendem a "prender" o AG ao primeiro apontamento correto encontrado, dificultando melhorias posteriores. Porém, os testes também revelam resultados de RSSL, Aptidão e Convergência muito aproximados para Kp entre 0,1 e 5, sugerindo que se possa usar quaisquer destes valores, sem grandes perdas nos resultados finais, em casos que não admitem erros de apontamento. Isto ocorre neste trabalho, onde o apontamento correto é essencial, de modo a optar por Kp = 1, aumentando a influência do apontamento no valor da aptidão.							

Otimização de Arranjos de Antenas com Algoritmos Genéticos - O3AG							Versão:	1.1
Teste:	V - Fator de Dilatação			Arquivo:	o3ag_v1.1.sci		Data:	12/12/05
Tipo de Antenas:	Isotrópica	Nº de Elem.:	40	Espaçam.:	$\lambda / 4$	Teta <sub>o</sub> (°) =	10,000	
Teta <sub>1 1min</sub> (°) =	-	Teta <sub>2 2máx</sub> (°) =	-	RSSL (dB) >=	27,000	RMI <sub>min</sub> (dB) >=   RMM (Adm) =	-	
Tam. Pop. =	100	Recomb. =	35,00%	Mutação =	10,00%	Fator de Dilatação =	0,01	
Simulação Nº	Teta (°)	Beta (°)	RSSL (dB)	RMI <sub>min</sub>   RMM (dB   Adm)	Aptidão (Adm)	Converg. (Gerações)	Tempo (minutos)	CPU - Clock (GHz)
01	10,313	-44,248	28,750	-	27,356278	219	78,746	P4 - 1.7
02	9,740	135,674	30,301	-	32,716569	248	78,526	P4 - 1.7
03	10,313	-44,233	29,114	-	28,529415	164	46,221	P4 - 1.7*
04	9,740	135,623	29,012	-	28,202407	243	46,074	P4 - 1.7*
05	<del>10,313</del>	-44,149	28,547	-	26,544315	300	46,135	P4 - 1.7*
06	10,313	135,739	27,574	-	23,892707	299	46,051	P4 - 1.7*
07	9,740	-44,358	30,509	-	33,509062	285	46,154	P4 - 1.7*
08	<del>9,167</del>	135,563	30,378	-	32,801487	264	46,020	P4 - 1.7*
09	9,740	-44,379	31,498	-	37,548995	277	46,156	P4 - 1.7*
10	10,313	135,763	<del>26,594</del>	-	21,344437	275	46,626	P4 - 1.7*
<b>Mínimo</b>	<b>9,167</b>	<b>-44,379</b>	<b>26,594</b>	-	<b>21,344437</b>	<b>164</b>	<b>46,020</b>	-
<b>Máximo</b>	<b>10,886</b>	<b>135,763</b>	<b>31,498</b>	-	<b>37,548995</b>	<b>300</b>	<b>78,746</b>	-
<b>Média<sub>Sem Erros</sub></b>	<b>9,986</b>	-	<b>29,537</b>	-	<b>30,250776</b>	<b>248</b>	<b>55,418</b>	-
<b>Comentário:</b>	O teste de fator de dilatação apresenta não-conformidades nos resultados, devido a erros de apontamento e um erro de baixo valor de RSSL. O apontamento usado nos testes de P a U foi Teta <sub>o</sub> = 90°. Agora, deve-se analisar o melhor valor de Kp para outro apontamento, sendo adotado o valor mais extremo de Teta <sub>o</sub> = 10°. Este teste analisou Kp = 0,01, sendo obtidos resultados inadequados, de maneira que sugere-se adotar o mesmo procedimento de Teta <sub>o</sub> = 90°, isto é, aumentar progressivamente o valor de Kp, com base em multiplicações por 10 dos fatores já utilizados (10x0,01, 10x0,05, 10²x0,01, 10²x0,05 e 10²x0,01). Deve-se atentar que o valor de RSSL mínimo adotado para ângulos diferentes de 90° é de 27 dB. Na coluna CPU - Clock (GHz), os "*" indicam que foi usada a versão 3.0 do Scilab nas simulações e não a versão 3.1.1, como antes.							

Otimização de Arranjos de Antenas com Algoritmos Genéticos - O3AG							Versão:	1.1
Teste:	W - Fator de Dilatação			Arquivo:	o3ag_v1.1.sci		Data:	12/12/05
Tipo de Antenas:	Isotrópica	Nº de Elem.:	40	Espaçam.:	$\lambda / 4$	Teta <sub>o</sub> (°) =	10,000	
Teta <sub>1 1min</sub> (°) =	-	Teta <sub>2 2máx</sub> (°) =	-	RSSL (dB) >=	27,000	RMI <sub>min</sub> (dB) >=   RMM (Adm) =	-	
Tam. Pop. =	100	Recomb. =	35,00%	Mutação =	10,00%	Fator de Dilatação =	0,05	
Simulação Nº	Teta (°)	Beta (°)	RSSL (dB)	RMI <sub>min</sub>   RMM (dB   Adm)	Aptidão (Adm)	Converg. (Gerações)	Tempo (minutos)	CPU - Clock (GHz)
01	10,313	-44,232	31,700	-	38,272368	226	41,729	P4 - 2.8
02	9,167	135,566	<del>26,052</del>	-	19,400851	292	41,674	P4 - 2.8
03	9,740	135,687	28,338	-	26,028492	282	41,711	P4 - 2.8
04	9,740	-44,312	28,862	-	27,647504	188	41,722	P4 - 2.8
05	10,313	-44,284	28,301	-	25,878854	250	-	P4 - 2.8
06	<del>10,313</del>	135,797	28,018	-	24,218917	275	-	P4 - 2.8
07	10,313	-44,255	30,751	-	34,309762	298	-	P4 - 2.8
08	10,313	135,763	<del>25,585</del>	-	18,928340	168	41,735	P4 - 2.8
09	10,313	-44,307	27,318	-	23,107443	201	41,730	P4 - 2.8
10	10,313	-44,235	<del>26,140</del>	-	20,176992	223	41,738	P4 - 2.8
<b>Mínimo</b>	<b>9,167</b>	<b>-44,312</b>	<b>25,585</b>	-	<b>18,928340</b>	<b>168</b>	<b>41,674</b>	-
<b>Máximo</b>	<b>10,886</b>	<b>135,797</b>	<b>31,700</b>	-	<b>38,272368</b>	<b>298</b>	<b>41,738</b>	-
<b>Média<sub>Sem Erros</sub></b>	<b>10,122</b>	-	<b>29,212</b>	-	<b>29,207404</b>	<b>241</b>	<b>41,723</b>	-
<b>Comentário:</b>	O teste de fator de dilatação apresenta não-conformidades nos resultados, devido a erros de apontamento e de baixos valores de RSSL. Este teste analisou Kp = 0,05 e, ao contrário do que aconteceu no teste N, para Teta <sub>o</sub> = 90°, não se obteve um excepcional desempenho, apresentando erros de apontamento e RSSL. Isso ratifica a opção de adotar um valor maior para Kp, no caso, igual a 1, como explicado no teste U. Para verificar novos resultados, sugere-se continuar aumentando progressivamente o valor de Kp, com base em multiplicações por 10 dos fatores já utilizados.							

Otimização de Arranjos de Antenas com Algoritmos Genéticos - O3AG								Versão:	1.1
Teste:	X - Fator de Dilatação			Arquivo:	o3ag_v1.1.sci		Data:	12/12/05	
Tipo de Antenas:	Isotrópica	Nº de Elem.:	40	Espaçam.:	$\lambda / 4$	Teta <sub>0</sub> (°) =	10,000		
Teta <sub>1 1min</sub> (°) =	-	Teta <sub>2 2máx</sub> (°) =	-	RSL (dB) >=	27,000	RMI <sub>min</sub> (dB) >=   RMM (Adm) =	-		
Tam. Pop. =	100	Recomb. =	35,00%	Mutação =	10,00%	Fator de Dilatação =			0,10
Simulação Nº	Teta (°)	Beta (°)	RSL (dB)	RMI <sub>min</sub>   RMM (dB   Adm)	Aptidão (Adm)	Converg. (Gerações)	Tempo (minutos)	CPU - Clock (GHz)	
01	9,740	135,668	29,750	-	30,519000	240	46,384	P4 - 1.7*	
02	9,740	135,685	29,760	-	30,555546	297	-	P4 - 1.7*	
03	10,313	135,740	29,697	-	30,241582	300	-	P4 - 1.7*	
04	<del>10,886</del>	-44,184	29,481	-	27,620820	292	-	P4 - 1.7*	
05	9,740	-44,344	28,690	-	27,012298	130	46,441	P4 - 1.7*	
06	9,740	-44,331	27,042	-	22,346000	146	46,297	P4 - 1.7*	
07	10,313	-44,284	27,547	-	23,610925	298	46,304	P4 - 1.7*	
08	10,313	-44,264	30,275	-	32,323548	197	46,365	P4 - 1.7*	
09	9,740	-44,363	29,650	-	30,171173	264	46,376	P4 - 1.7*	
10	9,740	135,674	29,242	-	28,786687	174	46,346	P4 - 1.7*	
<b>Mínimo</b>	<b>9,740</b>	<b>-44,363</b>	<b>27,042</b>	-	<b>22,346000</b>	<b>130</b>	<b>46,297</b>	-	
<b>Máximo</b>	<b>10,886</b>	<b>135,740</b>	<b>30,275</b>	-	<b>32,323548</b>	<b>300</b>	<b>46,441</b>	-	
<b>Média<sub>Sem Erros</sub></b>	<b>9,931</b>	-	<b>29,073</b>	-	<b>28,396307</b>	<b>227</b>	<b>46,359</b>	-	
<b>Comentário:</b>	O teste de fator de dilatação apresenta não-conformidades nos resultados, devido a um erro de apontamento. Este teste analisou Kp = 0,1, havendo menos erros que no teste W. Para verificar novos resultados, sugere-se continuar aumentando progressivamente o valor de Kp. Na coluna CPU - Clock (GHz), os *** indicam que foi usada a versão 3.0 do Scilab nas simulações e não a versão 3.1.1.								

Otimização de Arranjos de Antenas com Algoritmos Genéticos - O3AG								Versão:	1.1
Teste:	Y - Fator de Dilatação			Arquivo:	o3ag_v1.1.sci		Data:	12/12/05	
Tipo de Antenas:	Isotrópica	Nº de Elem.:	40	Espaçam.:	$\lambda / 4$	Teta <sub>0</sub> (°) =	10,000		
Teta <sub>1 1min</sub> (°) =	-	Teta <sub>2 2máx</sub> (°) =	-	RSL (dB) >=	27,000	RMI <sub>min</sub> (dB) >=   RMM (Adm) =	-		
Tam. Pop. =	100	Recomb. =	35,00%	Mutação =	10,00%	Fator de Dilatação =			0,50
Simulação Nº	Teta (°)	Beta (°)	RSL (dB)	RMI <sub>min</sub>   RMM (dB   Adm)	Aptidão (Adm)	Converg. (Gerações)	Tempo (minutos)	CPU - Clock (GHz)	
01	9,740	135,669	27,004	-	21,666413	227	41,688	P4 - 2.8	
02	9,740	135,685	29,822	-	29,969232	249	41,682	P4 - 2.8	
03	10,313	129,348	<del>48,464</del>	-	7,713206	222	41,608	P4 - 2.8	
04	10,313	-44,264	27,732	-	23,217222	156	41,724	P4 - 2.8	
05	9,740	135,683	28,254	-	25,019663	177	41,764	P4 - 2.8	
06	10,313	135,727	28,213	-	24,538106	299	41,671	P4 - 2.8	
07	9,740	-44,351	<del>25,556</del>	-	18,339687	192	41,680	P4 - 2.8	
08	9,740	-44,346	<del>26,617</del>	-	20,722011	242	41,666	P4 - 2.8	
09	10,313	-44,261	<del>26,289</del>	-	19,662251	202	41,687	P4 - 2.8	
10	9,740	-44,318	27,051	-	21,784748	298	41,700	P4 - 2.8	
<b>Mínimo</b>	<b>9,740</b>	<b>-44,351</b>	<b>18,161</b>	-	<b>7,713206</b>	<b>156</b>	<b>41,608</b>	-	
<b>Máximo</b>	<b>10,313</b>	<b>135,727</b>	<b>29,822</b>	-	<b>29,969232</b>	<b>299</b>	<b>41,764</b>	-	
<b>Média<sub>Sem Erros</sub></b>	<b>9,931</b>	-	<b>28,013</b>	-	<b>24,365897</b>	<b>234</b>	<b>41,705</b>	-	
<b>Comentário:</b>	O teste de fator de dilatação apresenta não-conformidades nos resultados, devido a erros de baixos valores de RSL. Este teste analisou Kp = 0,5, havendo vários erros de RSL, mas evitando erros de apontamento. Sugere-se continuar aumentando progressivamente o valor de Kp e verificar os resultados.								

Otimização de Arranjos de Antenas com Algoritmos Genéticos - O3AG								Versão:	1.1
Teste:	Z - Fator de Dilatação			Arquivo:	o3ag_v1.1.sci		Data:	12/12/05	
Tipo de Antenas:	Isotrópica	Nº de Elem.:	40	Espaçam.:	$\lambda / 4$	Teta <sub>0</sub> (°) =	10,000		
Teta <sub>1 1min</sub> (°) =	-	Teta <sub>2 2máx</sub> (°) =	-	RSL (dB) >=	27,000	RMI <sub>min</sub> (dB) >=   RMM (Adm) =	-		
Tam. Pop. =	100	Recomb. =	35,00%	Mutação =	10,00%	Fator de Dilatação =			1,00
Simulação Nº	Teta (°)	Beta (°)	RSL (dB)	RMI <sub>min</sub>   RMM (dB   Adm)	Aptidão (Adm)	Converg. (Gerações)	Tempo (minutos)	CPU - Clock (GHz)	
01	9,740	-44,312	29,436	-	27,760909	257	-	P4 - 1.7*	
02	9,740	135,656	29,057	-	26,577589	175	-	P4 - 1.7*	
03	9,740	135,638	<del>25,296</del>	-	17,236800	296	-	P4 - 1.7*	
04	9,740	-44,318	<del>25,509</del>	-	17,665150	216	-	P4 - 1.7*	
05	9,740	-44,381	27,281	-	21,662643	240	46,270	P4 - 1.7*	
06	9,740	135,632	27,265	-	21,623144	254	46,218	P4 - 1.7*	
07	9,740	-44,333	30,222	-	30,392408	238	46,230	P4 - 1.7*	
08	9,740	-44,313	31,688	-	35,980170	225	46,261	P4 - 1.7*	
09	9,740	135,686	27,641	-	22,577775	300	46,196	P4 - 1.7*	
10	9,740	135,679	28,744	-	25,635444	184	46,251	P4 - 1.7*	
<b>Mínimo</b>	<b>9,740</b>	<b>-44,381</b>	<b>25,296</b>	-	<b>17,236800</b>	<b>175</b>	<b>46,196</b>	-	
<b>Máximo</b>	<b>9,740</b>	<b>135,686</b>	<b>31,688</b>	-	<b>35,980170</b>	<b>300</b>	<b>46,270</b>	-	
<b>Média<sub>Sem Erros</sub></b>	<b>9,740</b>	-	<b>28,917</b>	-	<b>26,526260</b>	<b>234</b>	<b>46,238</b>	-	
<b>Comentário:</b>	O teste de fator de dilatação apresenta não-conformidades nos resultados, devido a erros de baixos valores de RSL. Este teste analisou Kp = 1, havendo uma estabilidade no valor obtido para o apontamento e menos erros de RSL que no teste Y. Ainda com relação ao teste Y, os valores médios são maiores em RSL e Aptidão. Sugere-se continuar o acréscimo progressivo para o valor de Kp. Na coluna CPU - Clock (GHz), os *** indicam que foi usada a versão 3.0 do Scilab nas simulações e não a versão 3.1.1.								



Otimização de Arranjos de Antenas com Algoritmos Genéticos - O3AG								Versão:	1.1
Teste:	AA - Fator de Dilatação			Arquivo:	o3ag_v1.1.sci		Data:	12/12/05	
Tipo de Antenas:	Isotrópica	Nº de Elem.:	40	Espaçam.:	$\lambda / 4$	Teta <sub>o</sub> (°) =	10,000		
Teta <sub>1 1min</sub> (°) =	-	Teta <sub>2 2máx</sub> (°) =	-	RSL (dB) >=	27,000	RMI <sub>min</sub> (dB) >=   RMM (Adm) =	-		
Tam. Pop. =	100	Recomb. =	35,00%	Mutação =	10,00%	Fator de Dilatação =	5,00		
Simulação Nº	Teta (°)	Beta (°)	RSL (dB)	RMI <sub>min</sub>   RMM (dB   Adm)	Aptidão (Adm)	Converg. (Gerações)	Tempo (minutos)	CPU - Clock (GHz)	
01	9,740	-44,329	27,715	-	18,178062	286	46,611	P4 - 1.7*	
02	9,467	135,606	26,434	-	4,534762	274	46,637	P4 - 1.7*	
03	9,740	-44,342	28,406	-	19,682586	159	46,841	P4 - 1.7*	
04	9,740	-50,412	49,972	-	3,735604	160	46,786	P4 - 1.7*	
05	9,740	135,657	28,476	-	19,842721	277	47,044	P4 - 1.7*	
06	9,740	135,652	27,833	-	18,425456	272	46,988	P4 - 1.7*	
07	9,740	-44,351	27,858	-	18,479652	289	-	P4 - 1.7*	
08	9,740	-44,320	23,694	-	11,441835	190	46,937	P4 - 1.7*	
09	9,740	-50,762	46,484	-	4,819352	290	-	P4 - 1.7*	
10	9,740	-44,319	26,682	-	16,139951	223	46,623	P4 - 1.7*	
<b>Mínimo</b>	<b>9,167</b>	<b>-50,762</b>	<b>13,972</b>	-	<b>3,735604</b>	<b>159</b>	<b>46,611</b>	-	
<b>Máximo</b>	<b>9,740</b>	<b>135,657</b>	<b>28,476</b>	-	<b>19,842721</b>	<b>290</b>	<b>47,044</b>	-	
<b>Média<sub>Sem Erros</sub></b>	<b>9,740</b>	-	<b>28,058</b>	-	<b>18,921695</b>	<b>257</b>	<b>46,871</b>	-	
<b>Comentário:</b>	O teste de fator de dilatação apresenta não-conformidades nos resultados, devido a um erro de apontamento e erros de baixos valores de RSL. Este teste analisou Kp = 5, o que deveria ter evitado erros de apontamento. No entanto, houve um erro, o que é justificável, visto que foi único, podendo ser atribuído a uma convergência prematura. O Kp elevado, ocasionou também vários erros de RSL, indicando que o Kp = 1 ainda é o melhor valor, conforme explicado no teste U. Na coluna CPU - Clock (GHz), os "*" indicam que foi usada a versão 3.0 do Scilab nas simulações e não a versão 3.1.1.								

Otimização de Arranjos de Antenas com Algoritmos Genéticos - O3AG								Versão:	1.1
Teste:	AB - Fator de Dilatação			Arquivo:	o3ag_v1.1.sci		Data:	12/12/05	
Tipo de Antenas:	Isotrópica	Nº de Elem.:	40	Espaçam.:	$\lambda / 4$	Teta <sub>o</sub> (°) =	10,000		
Teta <sub>1 1min</sub> (°) =	-	Teta <sub>2 2máx</sub> (°) =	-	RSL (dB) >=	27,000	RMI <sub>min</sub> (dB) >=   RMM (Adm) =	-		
Tam. Pop. =	100	Recomb. =	35,00%	Mutação =	10,00%	Fator de Dilatação =	10,00		
Simulação Nº	Teta (°)	Beta (°)	RSL (dB)	RMI <sub>min</sub>   RMM (dB   Adm)	Aptidão (Adm)	Converg. (Gerações)	Tempo (minutos)	CPU - Clock (GHz)	
01	9,740	-44,373	24,498	-	9,682371	265	-	P4 - 2.8*	
02	9,740	-44,359	25,911	-	11,793454	186	28,231	P4 - 2.8*	
03	10,313	135,728	29,131	-	14,441057	216	28,510	P4 - 2.8*	
04	9,740	-51,717	20,609	-	6,405767	300	-	P4 - 2.8*	
05	9,740	-44,347	24,952	-	10,561010	249	28,199	P4 - 2.8*	
06	9,740	135,665	28,165	-	15,287929	150	28,256	P4 - 2.8*	
07	9,740	135,661	24,439	-	9,955361	216	28,211	P4 - 2.8*	
08	9,740	97,403	45,776	-	3,672214	225	28,819	P4 - 2.8*	
09	9,467	-44,440	25,998	-	2,266989	229	28,310	P4 - 2.8*	
10	9,740	135,675	28,571	-	16,019214	268	28,315	P4 - 2.8*	
<b>Mínimo</b>	<b>9,167</b>	<b>-51,717</b>	<b>15,776</b>	-	<b>2,266989</b>	<b>150</b>	<b>28,199</b>	-	
<b>Máximo</b>	<b>10,313</b>	<b>135,728</b>	<b>29,131</b>	-	<b>16,019214</b>	<b>300</b>	<b>28,819</b>	-	
<b>Média<sub>Sem Erros</sub></b>	<b>9,931</b>	-	<b>28,622</b>	-	<b>15,249400</b>	<b>211</b>	<b>28,360</b>	-	
<b>Comentário:</b>	O teste de fator de dilatação apresenta não-conformidades nos resultados, devido a um erro de apontamento e erros de baixos valores de RSL. Este teste analisou Kp = 10, sendo bastante semelhante ao teste AA. Assim, o elevado valor Kp ainda permitiu um erro de apontamento, justificável, visto que foi único, podendo ser atribuído a uma convergência prematura. Houve inúmeros erros de RSL, confirmando que o melhor valor de Kp é 1. Na coluna CPU - Clock (GHz), os "*" indicam que foi usada a versão 3.0 do Scilab nas simulações e não a versão 3.1.1.								

Otimização de Arranjos de Antenas com Algoritmos Genéticos - O3AG								Versão:	1.1
Teste:	AC - Apontamento			Arquivo:	o3ag_v1.1.sci		Data:	12/12/05	
Tipo de Antenas:	Isotrópica	Nº de Elem.:	40	Espaçam.:	$\lambda / 4$	Teta <sub>o</sub> (°) =	30,000		
Teta <sub>1 1min</sub> (°) =	-	Teta <sub>2 2máx</sub> (°) =	-	RSL (dB) >=	27,000	RMI <sub>min</sub> (dB) >=   RMM (Adm) =	-		
Tam. Pop. =	100	Recomb. =	35,00%	Mutação =	10,00%	Fator de Dilatação =	1,00		
Simulação Nº	Teta (°)	Beta (°)	RSL (dB)	RMI <sub>min</sub>   RMM (dB   Adm)	Aptidão (Adm)	Converg. (Gerações)	Tempo (minutos)	CPU - Clock (GHz)	
01	29,794	-39,103	29,546	-	28,787511	293	41,838	P4 - 2.8	
02	29,794	-38,970	28,366	-	25,130041	235	41,909	P4 - 2.8	
03	29,794	-39,030	28,204	-	24,666672	163	41,873	P4 - 2.8	
04	29,794	140,996	30,232	-	31,154706	206	41,859	P4 - 2.8	
05	29,794	140,968	25,935	-	18,995156	177	41,890	P4 - 2.8	
06	29,794	-39,085	29,752	-	29,478612	194	41,831	P4 - 2.8	
07	29,794	-39,042	29,325	-	28,063838	208	41,884	P4 - 2.8	
08	29,794	140,940	25,698	-	18,484406	198	41,794	P4 - 2.8	
09	29,794	141,019	28,247	-	24,789554	242	41,818	P4 - 2.8	
10	29,794	-39,053	27,458	-	22,637016	203	41,826	P4 - 2.8	
<b>Mínimo</b>	<b>29,794</b>	<b>-39,103</b>	<b>25,698</b>	-	<b>18,484406</b>	<b>163</b>	<b>41,794</b>	-	
<b>Máximo</b>	<b>29,794</b>	<b>141,019</b>	<b>30,232</b>	-	<b>31,154706</b>	<b>293</b>	<b>41,909</b>	-	
<b>Média<sub>Sem Erros</sub></b>	<b>29,794</b>	-	<b>28,891</b>	-	<b>26,838494</b>	<b>218</b>	<b>41,855</b>	-	
<b>Comentário:</b>	O teste de apontamento apresenta não-conformidades nos resultados, devido a erros de baixos valores de RSL. Estabelecidas as constantes a serem usadas no Algoritmo Genético pelos testes de B a AB, deve-se realizar novos testes, agora, com outros apontamentos, ou seja, outros ângulos do lóbulo principal. Ressalta-se que o valor de RSL mínimo adotado para ângulos diferentes de 90° é de 27 dB. Este teste adotou Teta <sub>o</sub> = 30°, sendo observada elevada estabilidade na determinação correta do apontamento e, como no teste Z, para Teta <sub>o</sub> = 10°, houve apenas 2 erros de RSL com valores próximos ao limite estabelecido.								

Otimização de Arranjos de Antenas com Algoritmos Genéticos - O3AG							Versão:	1.1	
Teste:	AD - Apontamento			Arquivo:	o3ag_v1.1.sci		Data:	12/12/05	
Tipo de Antenas:	Isotrópica	Nº de Elem.:	40	Espaçam.:	$\lambda / 4$	Teta <sub>o</sub> (°) =	45,000		
Teta <sub>1</sub> min (°) =	-	Teta <sub>2</sub> max (°) =	-	RSL (dB) >=	27,000	RMI <sub>min</sub> (dB) >=   RMM (Adm) =	-		
Tam. Pop. =	100	Recomb. =	35,00%	Mutação =	10,00%	Fator de Dilatação =			1,00
Simulação Nº	Teta (°)	Beta (°)	RSL (dB)	RMI <sub>min</sub>   RMM (dB   Adm)	Aptidão (Adm)	Converg. (Gerações)	Tempo (minutos)	CPU - Clock (GHz)	
01	45,264	148,402	28,569	-	25,076849	146	41,622	P4 - 2.8	
02	45,264	148,220	28,729	-	25,542184	238	41,547	P4 - 2.8	
03	44,691	-32,128	28,559	-	24,449063	289	41,528	P4 - 2.8	
04	45,264	-31,639	29,027	-	26,432526	209	41,801	P4 - 2.8	
05	45,264	-31,730	30,247	-	30,421255	229	-	P4 - 2.8	
06	45,264	-31,819	28,719	-	25,512265	299	-	P4 - 2.8	
07	45,264	148,372	31,847	-	36,571263	220	-	P4 - 2.8	
08	45,264	-31,749	28,612	-	25,201315	299	-	P4 - 2.8	
09	45,264	-31,792	31,287	-	34,290141	244	41,568	P4 - 2.8	
10	45,264	-31,644	30,367	-	30,844281	299	41,542	P4 - 2.8	
<b>Mínimo</b>	<b>44,691</b>	<b>-32,128</b>	<b>28,559</b>	-	<b>24,449063</b>	<b>146</b>	<b>41,528</b>	-	
<b>Máximo</b>	<b>45,264</b>	<b>148,402</b>	<b>31,847</b>	-	<b>36,571263</b>	<b>299</b>	<b>41,801</b>	-	
<b>Média<sub>Sem Erros</sub></b>	<b>45,206</b>	-	<b>29,596</b>	-	<b>28,434114</b>	<b>247</b>	<b>41,601</b>	-	
<b>Comentário:</b>	O teste de apontamento não apresenta erros nos resultados. Este teste adotou Teta <sub>o</sub> = 45°, não constatando erros nos resultados, o que destaca a maior dificuldade em se obter controle do diagrama de radiação do arranjo linear para ângulos próximos à condição axial de propagação ( <i>end-fire</i> ), como aconteceu nos testes Z e AC, com Teta <sub>o</sub> igual a 10° e 30°, respectivamente.								

Otimização de Arranjos de Antenas com Algoritmos Genéticos - O3AG							Versão:	1.1	
Teste:	AE - Apontamento			Arquivo:	o3ag_v1.1.sci		Data:	12/12/05	
Tipo de Antenas:	Isotrópica	Nº de Elem.:	40	Espaçam.:	$\lambda / 4$	Teta <sub>o</sub> (°) =	60,000		
Teta <sub>1</sub> min (°) =	-	Teta <sub>2</sub> max (°) =	-	RSL (dB) >=	27,000	RMI <sub>min</sub> (dB) >=   RMM (Adm) =	-		
Tam. Pop. =	100	Recomb. =	35,00%	Mutação =	10,00%	Fator de Dilatação =			1,00
Simulação Nº	Teta (°)	Beta (°)	RSL (dB)	RMI <sub>min</sub>   RMM (dB   Adm)	Aptidão (Adm)	Converg. (Gerações)	Tempo (minutos)	CPU - Clock (GHz)	
01	60,161	157,563	30,463	-	32,514789	250	45,893	P4 - 1.7*	
02	60,161	-22,545	31,194	-	35,372254	297	45,849	P4 - 1.7*	
03	60,161	-22,349	31,974	-	38,694830	149	46,087	P4 - 1.7*	
04	60,161	157,601	29,903	-	15,278872	266	45,947	P4 - 1.7*	
05	60,161	157,568	31,946	-	38,568191	280	-	P4 - 1.7*	
06	60,161	-22,413	32,216	-	39,787222	182	46,639	P4 - 1.7*	
07	60,161	-22,323	28,851	-	27,009384	256	-	P4 - 1.7*	
08	60,161	157,540	28,963	-	27,357950	299	46,149	P4 - 1.7*	
09	60,161	-22,351	32,575	-	41,464781	192	45,942	P4 - 1.7*	
10	60,161	-22,460	29,701	-	29,785134	162	46,400	P4 - 1.7*	
<b>Mínimo</b>	<b>60,161</b>	<b>-22,545</b>	<b>23,903</b>	-	<b>15,278872</b>	<b>149</b>	<b>45,849</b>	-	
<b>Máximo</b>	<b>60,161</b>	<b>157,601</b>	<b>32,575</b>	-	<b>41,464781</b>	<b>299</b>	<b>46,639</b>	-	
<b>Média<sub>Sem Erros</sub></b>	<b>60,161</b>	-	<b>30,876</b>	-	<b>34,506059</b>	<b>230</b>	<b>46,137</b>	-	
<b>Comentário:</b>	O teste de apontamento apresenta não-conformidades nos resultados, devido a um erro de baixo valor de RSL. Este teste adotou Teta <sub>o</sub> = 60°, apresentando apenas um erro de RSL, o que é aceitável, tendo em vista que o proposto nesta fase da ferramenta O3AG é alcançar soluções dimas em, pelo menos, 70% das tentativas. Na coluna CPU - Clock (GHz), os "*" indicam que foi usada a versão 3.0 do Scilab nas simulações e não a versão 3.1.1.								

# Apêndice IV - Testes da Função O3AG Versão 2.0

Otimização de Arranjos de Antenas com Algoritmos Genéticos - O3AG							Versão:	2.0
Teste:	A - Interferência Quase-Axial			Arquivo:	o3ag_v2.0.sci		Data:	12/12/05
Tipo de Antenas:	Isotrópica	Nº de Elem.:	40	Espaçam.:	$\lambda / 4$	Teta <sub>0</sub> (°) =	90,000	
Teta <sub>1 1min</sub> (°) =	10,000	Teta <sub>2 2máx</sub> (°) =	-	RSL (dB) >=	15,000	RMI <sub>min</sub> (dB) >=   RMM (Adm) =	50,000	
Tam. Pop. =	100	Recomb. =	35,00%	Mutação =	10,00%	Fator de Dilatação =	1,00	
Simulação Nº	Teta (°)	Beta (°)	RSL (dB)	RMI <sub>min</sub>   RMM (dB   Adm)	Aptidão (Adm)	Converg. (Gerações)	Tempo (minutos)	CPU - Clock (GHz)
01	89,954	-0,036	23,582	50,350	15,073565	281	29,198	P4 - 2.8*
02	89,954	-0,118	20,961	55,109	11,147018	292	29,035	P4 - 2.8*
03	89,954	0,031	24,931	59,132	17,605452	294	29,029	P4 - 2.8*
04	89,954	-0,221	23,389	55,903	14,742198	255	29,082	P4 - 2.8*
05	89,954	-0,257	25,434	51,114	18,655377	289	29,051	P4 - 2.8*
06	89,954	-0,138	24,182	51,397	16,150593	299	29,574	P4 - 2.8*
07	89,954	-0,068	24,053	54,182	15,913041	292	29,189	P4 - 2.8*
08	89,954	179,909	26,517	54,971	21,131303	246	29,108	P4 - 2.8*
09	89,954	-0,035	27,960	54,694	24,952096	287	29,114	P4 - 2.8*
10	89,954	-0,171	23,191	50,906	14,410003	230	29,098	P4 - 2.8*
<b>Mínimo</b>	<b>89,954</b>	<b>-0,257</b>	<b>20,961</b>	<b>50,350</b>	<b>11,147018</b>	<b>230</b>	<b>29,029</b>	-
<b>Máximo</b>	<b>89,954</b>	<b>179,909</b>	<b>27,960</b>	<b>59,132</b>	<b>24,952096</b>	<b>299</b>	<b>29,574</b>	-
<b>Média<sub>Sem Erros</sub></b>	<b>89,954</b>	<b>-</b>	<b>24,420</b>	<b>53,776</b>	<b>16,978065</b>	<b>277</b>	<b>29,148</b>	-
<b>Comentário:</b>	O teste de interferência quase-axial não apresenta erros nos resultados. Apesar da dificuldade de controlar o diagrama de radiação do arranjo linear para o posicionamento "nulos" em ângulos próximos a condição axial de radiação (end-fire), o AG atingiu excelentes resultados, sem quaisquer erros. Em grande parte, isso pode ser explicado pelo fato do posicionamento do lóbulo principal na condição normal ao eixo do arranjo linear permitir obter maior diretividade, facilitando o posicionamento de outros pontos do diagrama de radiação, inclusive de "nulos". Neste caso, foi utilizado um valor menor de RMI <sub>min</sub> , 50 dB, visando obter melhores resultados para o apontamento e o RSL, sendo possível fazer esta redução pelo fato de 50 dB ser o valor especificado no trabalho como um "nulo" no diagrama. Na coluna CPU - Clock (GHz), os "*" indicam que foi usada a versão 3.0 do Scilab nas simulações e não a versão 3.1.1.							

Otimização de Arranjos de Antenas com Algoritmos Genéticos - O3AG							Versão:	2.0
Teste:	B - Interferência Quase-Axial			Arquivo:	o3ag_v2.0.sci		Data:	12/12/05
Tipo de Antenas:	Isotrópica	Nº de Elem.:	40	Espaçam.:	$\lambda / 4$	Teta <sub>0</sub> (°) =	10,000	
Teta <sub>1 1min</sub> (°) =	20,000	Teta <sub>2 2máx</sub> (°) =	-	RSL (dB) >=	15,000	RMI <sub>min</sub> (dB) >=   RMM (Adm) =	60,000	
Tam. Pop. =	100	Recomb. =	35,00%	Mutação =	10,00%	Fator de Dilatação =	1,00	
Simulação Nº	Teta (°)	Beta (°)	RSL (dB)	RMI <sub>min</sub>   RMM (dB   Adm)	Aptidão (Adm)	Converg. (Gerações)	Tempo (minutos)	CPU - Clock (GHz)
01	9,740	135,661	26,797	4,837	0,204882	220	47,203	P4 - 1.7*
02	9,740	-44,333	29,547	4,546	0,281189	295	47,219	P4 - 1.7*
03	9,740	-44,328	28,938	4,612	0,262145	256	47,213	P4 - 1.7*
04	9,740	135,672	27,932	4,653	0,233494	148	47,241	P4 - 1.7*
05	9,740	135,684	29,142	4,306	0,268396	300	47,279	P4 - 1.7*
06	9,740	-44,329	30,657	4,533	0,319508	255	47,235	P4 - 1.7*
07	9,740	-44,324	26,667	4,796	0,201846	286	47,210	P4 - 1.7*
08	10,886	135,791	24,507	4,597	0,094111	292	47,202	P4 - 1.7*
09	9,740	-44,326	27,424	4,755	0,220217	233	47,526	P4 - 1.7*
10	9,740	135,659	27,939	4,725	0,233681	165	47,605	P4 - 1.7*
<b>Mínimo</b>	<b>9,740</b>	<b>-44,333</b>	<b>24,507</b>	<b>-</b>	<b>0,094111</b>	<b>148</b>	<b>47,202</b>	-
<b>Máximo</b>	<b>10,886</b>	<b>135,791</b>	<b>30,657</b>	<b>-</b>	<b>0,319508</b>	<b>300</b>	<b>47,605</b>	-
<b>Média<sub>Sem Erros</sub></b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>
<b>Comentário:</b>	O teste de interferência quase-axial apresenta não-conformidades nos resultados, devido a um erro de apontamento e erros de baixos valores de RMI em todos os casos. Estes erros de RMI indicam a impossibilidade de controlar o diagrama de radiação nesta condição, pois o posicionamento do lóbulo principal muito próximo a condição axial exige uma maior largura de feixe (compromisso de projeto), o que impede de eliminar um sinal interferente apenas 10° acima do referido lóbulo. Na coluna CPU - Clock (GHz), os "*" indicam que foi usada a versão 3.0 do Scilab nas simulações e não a versão 3.1.1.							

Otimização de Arranjos de Antenas com Algoritmos Genéticos - O3AG							Versão:	2.0
Teste:	C - Interferência Quase-Axial			Arquivo:	o3ag_v2.0.sci		Data:	12/12/05
Tipo de Antenas:	Isotrópica	Nº de Elem.:	40	Espaçam.:	$\lambda / 4$	Teta <sub>0</sub> (°) =	45,000	
Teta <sub>1 1min</sub> (°) =	10,000	Teta <sub>2 2máx</sub> (°) =	-	RSL (dB) >=	15,000	RMI <sub>min</sub> (dB) >=   RMM (Adm) =	60,000	
Tam. Pop. =	100	Recomb. =	35,00%	Mutação =	10,00%	Fator de Dilatação =	1,00	
Simulação Nº	Teta (°)	Beta (°)	RSL (dB)	RMI <sub>min</sub>   RMM (dB   Adm)	Aptidão (Adm)	Converg. (Gerações)	Tempo (minutos)	CPU - Clock (GHz)
01	45,264	148,368	20,914	72,339	10,387201	182	47,301	P4 - 1.7*
02	45,264	148,487	24,361	95,117	15,447429	201	47,251	P4 - 1.7*
03	45,264	-31,649	21,008	68,252	10,500826	153	47,268	P4 - 1.7*
04	44,691	-32,086	23,248	69,394	13,264839	243	47,236	P4 - 1.7*
05	44,691	-31,935	24,418	60,899	15,178375	299	47,229	P4 - 1.7*
06	45,264	-31,659	20,612	64,428	10,032863	227	47,201	P4 - 1.7*
07	45,264	148,410	23,999	71,093	14,817323	226	47,214	P4 - 1.7*
08	45,264	-31,513	20,788	69,214	10,237545	279	47,186	P4 - 1.7*
09	45,264	148,396	19,628	71,418	8,958368	245	47,213	P4 - 1.7*
10	45,264	-31,513	18,927	65,005	8,263716	257	47,189	P4 - 1.7*
<b>Mínimo</b>	<b>44,691</b>	<b>-32,086</b>	<b>18,927</b>	<b>60,899</b>	<b>8,263716</b>	<b>153</b>	<b>47,186</b>	-
<b>Máximo</b>	<b>45,264</b>	<b>148,487</b>	<b>24,418</b>	<b>95,117</b>	<b>15,447429</b>	<b>299</b>	<b>47,301</b>	-
<b>Média<sub>Sem Erros</sub></b>	<b>45,149</b>	<b>-</b>	<b>21,790</b>	<b>70,716</b>	<b>11,708849</b>	<b>231</b>	<b>47,229</b>	-
<b>Comentário:</b>	O teste de interferência quase-axial não apresenta erros nos resultados. Apesar da dificuldade de controlar o diagrama de radiação do arranjo linear para o posicionamento de "nulos" em ângulos próximos a condição axial de radiação (end-fire), o AG atingiu excelentes resultados, sem quaisquer erros. Destaca-se ainda o formidável valor do RMI <sub>min</sub> superior a 95 dB obtido no teste C02. Na coluna CPU - Clock (GHz), os "*" indicam que foi usada a versão 3.0 do Scilab nas simulações e não a versão 3.1.1.							

Otimização de Arranjos de Antenas com Algoritmos Genéticos - O3AG							Versão:	2.0
Teste:	D - Interferência Normal (Broadside)			Arquivo:	o3ag_v2.0.sci		Data:	12/12/05
Tipo de Antenas:	Isotrópica	Nº de Elem.:	40	Espaçam.:	$\lambda / 4$	Teta <sub>0</sub> (°) =	90,000	
Teta <sub>1 1min</sub> (°) =	100,000	Teta <sub>2 máx</sub> (°) =	-	RSL (dB) >=	15,000	RMI <sub>min</sub> (dB) >=   RMM (Adm) =	60,000	
Tam. Pop. =	100	Recomb. =	35,00%	Mutação =	10,00%	Fator de Dilatação =	1,00	
Simulação Nº	Teta (°)	Beta (°)	RSL (dB)	RMI <sub>min</sub>   RMM (dB   Adm)	Aptidão (Adm)	Converg. (Gerações)	Tempo (minutos)	CPU - Clock (GHz)
01	89,954	-0,132	26,739	60,660	21,678998	300	78,182	P4 - 1.7
02	89,954	179,909	23,246	66,539	14,501324	89	78,226	P4 - 1.7
03	89,954	0,171	30,083	64,207	31,860215	288	46,931	P4 - 1.7*
04	89,954	-0,016	20,005	72,101	9,984891	257	-	P4 - 1.7*
05	89,954	-0,083	23,866	80,918	15,573406	299	46,568	P4 - 1.7*
06	89,954	-0,068	29,683	84,004	30,424805	113	46,567	P4 - 1.7*
07	89,954	-0,175	25,573	65,101	18,955873	179	46,554	P4 - 1.7*
08	89,954	179,909	20,476	63,448	10,540971	91	46,474	P4 - 1.7*
09	89,954	0,057	27,235	66,695	22,953562	291	46,501	P4 - 1.7*
10	89,954	-0,023	27,107	60,926	22,618279	214	46,707	P4 - 1.7*
<b>Mínimo</b>	<b>89,954</b>	<b>-0,175</b>	<b>20,005</b>	<b>60,660</b>	<b>9,984891</b>	<b>89</b>	<b>46,474</b>	-
<b>Máximo</b>	<b>89,954</b>	<b>179,909</b>	<b>30,083</b>	<b>84,004</b>	<b>31,860215</b>	<b>300</b>	<b>78,226</b>	-
<b>Média<sub>Sem Erros</sub></b>	<b>89,954</b>	<b>-</b>	<b>25,401</b>	<b>68,460</b>	<b>19,909232</b>	<b>212</b>	<b>53,634</b>	-
<b>Comentário:</b>	O teste de interferência normal (broadside) não apresenta erros nos resultados. O posicionamento do lóbulo principal na condição normal ao eixo do arranjo linear permite a máxima diretividade e melhor controle da largura de feixe, de tal forma que se pode ter um feixe mais estreito e, conseqüentemente, "nulos" próximos ao lóbulo principal. Por isso, mesmo com um sinal interferente apenas 10° após o referido lóbulo, ainda foi possível posicionar um "nulo" na direção de chegada da interferência. Na coluna CPU - Clock (GHz), os "*" indicam que foi usada a versão 3.0 do Scilab nas simulações e não a versão 3.1.1.							

Otimização de Arranjos de Antenas com Algoritmos Genéticos - O3AG							Versão:	2.0
Teste:	E - Interferência Normal (Broadside)			Arquivo:	o3ag_v2.0.sci		Data:	12/12/05
Tipo de Antenas:	Isotrópica	Nº de Elem.:	40	Espaçam.:	$\lambda / 4$	Teta <sub>0</sub> (°) =	10,000	
Teta <sub>1 1min</sub> (°) =	100,000	Teta <sub>2 máx</sub> (°) =	-	RSL (dB) >=	15,000	RMI <sub>min</sub> (dB) >=   RMM (Adm) =	60,000	
Tam. Pop. =	100	Recomb. =	35,00%	Mutação =	10,00%	Fator de Dilatação =	1,00	
Simulação Nº	Teta (°)	Beta (°)	RSL (dB)	RMI <sub>min</sub>   RMM (dB   Adm)	Aptidão (Adm)	Converg. (Gerações)	Tempo (minutos)	CPU - Clock (GHz)
01	10,313	135,723	19,856	61,175	8,956739	300	47,764	P4 - 1.7*
02	10,313	-44,278	18,496	87,330	7,658182	290	47,597	P4 - 1.7*
03	9,467	-44,454	20,243	67,880	6,072945	205	47,557	P4 - 1.7*
04	9,740	-44,358	22,360	62,616	12,293365	285	47,586	P4 - 1.7*
05	9,740	-44,313	22,704	61,463	12,789153	287	47,593	P4 - 1.7*
06	9,740	135,641	15,669	65,404	5,689780	287	47,511	P4 - 1.7*
07	9,740	135,662	22,399	61,190	12,348679	298	47,542	P4 - 1.7*
08	9,740	-44,345	21,287	63,930	10,864561	272	47,569	P4 - 1.7*
09	9,740	135,667	22,256	62,402	12,146453	178	47,576	P4 - 1.7*
10	9,740	135,626	18,600	74,298	7,973675	269	47,545	P4 - 1.7*
<b>Mínimo</b>	<b>9,167</b>	<b>-44,454</b>	<b>15,669</b>	<b>61,175</b>	<b>5,689780</b>	<b>178</b>	<b>47,511</b>	-
<b>Máximo</b>	<b>10,313</b>	<b>135,723</b>	<b>22,704</b>	<b>87,330</b>	<b>12,789153</b>	<b>300</b>	<b>47,764</b>	-
<b>Média<sub>Sem Erros</sub></b>	<b>9,868</b>	<b>-</b>	<b>20,403</b>	<b>66,645</b>	<b>10,080065</b>	<b>274</b>	<b>47,587</b>	-
<b>Comentário:</b>	O teste de interferência normal (broadside) apresenta não-conformidades nos resultados, devido a um erro de apontamento. Tal erro fica dentro do proposto para esta aplicação do O3AG, isto é, uma capacidade de alcançar soluções ótimas em, pelo menos, 70% das tentativas. Além disso, o erro não foi grosseiro, pois o valor ficou próximo ao desejado, podendo ser explicado pela dificuldade de controlar o diagrama de radiação do arranjo linear, quanto ao posicionamento de lóbulos e "nulos" em ângulos próximos a condição axial de radiação (end-fire). Na coluna CPU - Clock (GHz), os "*" indicam que foi usada a versão 3.0 do Scilab nas simulações e não a versão 3.1.1.							

Otimização de Arranjos de Antenas com Algoritmos Genéticos - O3AG							Versão:	2.0
Teste:	F - Interferência Normal (Broadside)			Arquivo:	o3ag_v2.0.sci		Data:	12/12/05
Tipo de Antenas:	Isotrópica	Nº de Elem.:	40	Espaçam.:	$\lambda / 4$	Teta <sub>0</sub> (°) =	45,000	
Teta <sub>1 1min</sub> (°) =	90,000	Teta <sub>2 2máx</sub> (°) =	-	RSL (dB) >=	15,000	RMI <sub>min</sub> (dB) >=   RMM (Adm) =	60,000	
Tam. Pop. =	100	Recomb. =	35,00%	Mutação =	10,00%	Fator de Dilatação =	1,00	
Simulação Nº	Teta (°)	Beta (°)	RSL (dB)	RMI <sub>min</sub>   RMM (dB   Adm)	Aptidão (Adm)	Converg. (Gerações)	Tempo (minutos)	CPU - Clock (GHz)
01	44,691	147,981	21,407	69,754	10,731710	268	47,203	P4 - 1.7*
02	45,264	148,373	24,746	65,550	16,147347	266	47,223	P4 - 1.7*
03	45,264	-31,632	22,026	69,473	11,806533	91	47,229	P4 - 1.7*
04	44,691	148,028	21,797	60,014	11,224038	289	47,202	P4 - 1.7*
05	45,264	-31,602	18,439	66,467	7,812204	208	47,197	P4 - 1.7*
06	45,264	148,378	25,828	64,324	18,288915	249	47,237	P4 - 1.7*
07	44,691	147,947	21,143	68,423	10,410731	290	47,529	P4 - 1.7*
08	45,264	-31,534	23,207	66,024	13,525177	204	47,754	P4 - 1.7*
09	45,264	-31,672	24,444	83,498	15,595155	245	47,727	P4 - 1.7*
10	45,264	-31,648	20,390	65,454	9,779381	237	47,636	P4 - 1.7*
<b>Mínimo</b>	<b>44,691</b>	<b>-31,672</b>	<b>18,439</b>	<b>60,014</b>	<b>7,812204</b>	<b>91</b>	<b>47,197</b>	-
<b>Máximo</b>	<b>45,264</b>	<b>148,378</b>	<b>25,828</b>	<b>83,498</b>	<b>18,288915</b>	<b>290</b>	<b>47,754</b>	-
<b>Média<sub>Sem Erros</sub></b>	<b>45,092</b>	<b>-</b>	<b>22,343</b>	<b>67,898</b>	<b>12,532119</b>	<b>235</b>	<b>47,394</b>	-
<b>Comentário:</b>	O teste de interferência normal (broadside) não apresenta erros nos resultados. O posicionamento do lóbulo principal com 45°, em relação ao eixo do arranjo linear, mais uma vez mostra grande flexibilidade para posicionar "nulós" do diagrama de radiação em outras direções, como foi no teste C. Na coluna CPU - Clock (GHz), os "*" indicam que foi usada a versão 3.0 do Scilab nas simulações e não a versão 3.1.1.							

Otimização de Arranjos de Antenas com Algoritmos Genéticos - O3AG							Versão:	2.0
Teste:	G - Interferência Frontal			Arquivo:	o3ag_v2.0.sci		Data:	12/12/05
Tipo de Antenas:	Isotrópica	Nº de Elem.:	40	Espaçam.:	$\lambda / 4$	Teta <sub>0</sub> (°) =	45,000	
Teta <sub>1 1min</sub> (°) =	55,000	Teta <sub>2 2máx</sub> (°) =	-	RSL (dB) >=	15,000	RMI <sub>min</sub> (dB) >=   RMM (Adm) =	60,000	
Tam. Pop. =	100	Recomb. =	35,00%	Mutação =	10,00%	Fator de Dilatação =	1,00	
Simulação Nº	Teta (°)	Beta (°)	RSL (dB)	RMI <sub>min</sub>   RMM (dB   Adm)	Aptidão (Adm)	Converg. (Gerações)	Tempo (minutos)	CPU - Clock (GHz)
01	45,264	-31,800	22,742	62,674	12,821087	277	47,060	P4 - 1.7*
02	45,264	-31,656	20,066	62,190	9,421036	290	46,948	P4 - 1.7*
03	44,691	-32,086	23,432	68,774	13,550279	208	46,981	P4 - 1.7*
04	45,264	148,297	21,122	67,994	10,639192	295	46,965	P4 - 1.7*
05	45,264	148,169	22,069	72,309	11,864182	146	46,972	P4 - 1.7*
06	45,264	-31,788	18,744	60,734	8,091254	214	46,972	P4 - 1.7*
07	45,264	148,314	20,804	63,973	10,257121	167	46,962	P4 - 1.7*
08	44,691	-31,959	19,465	61,921	8,581838	182	46,966	P4 - 1.7*
09	44,691	148,045	23,169	60,709	13,145274	236	47,287	P4 - 1.7*
10	45,264	148,277	21,978	83,220	11,741776	264	46,957	P4 - 1.7*
<b>Mínimo</b>	<b>44,691</b>	<b>-32,086</b>	<b>18,744</b>	<b>60,734</b>	<b>8,091254</b>	<b>146</b>	<b>46,948</b>	-
<b>Máximo</b>	<b>45,264</b>	<b>148,314</b>	<b>23,432</b>	<b>72,309</b>	<b>13,550279</b>	<b>295</b>	<b>47,287</b>	-
<b>Média<sub>Sem Erros</sub></b>	<b>45,092</b>	<b>-</b>	<b>21,359</b>	<b>66,450</b>	<b>11,011304</b>	<b>228</b>	<b>47,007</b>	-
<b>Comentário:</b>	O teste de interferência frontal não apresenta erros nos resultados. Assim como nos testes C e F, o posicionamento do lóbulo principal com 45°, em relação ao eixo do arranjo linear, mostra grande flexibilidade para posicionar "nulós" do diagrama de radiação em outras direções. Na coluna CPU - Clock (GHz), os "*" indicam que foi usada a versão 3.0 do Scilab nas simulações e não a versão 3.1.1.							

Otimização de Arranjos de Antenas com Algoritmos Genéticos - O3AG							Versão:	2.0
Teste:	H - Interferência Diagonal			Arquivo:	o3ag_v2.0.sci		Data:	12/12/05
Tipo de Antenas:	Isotrópica	Nº de Elem.:	40	Espaçam.:	$\lambda / 4$	Teta <sub>0</sub> (°) =	90,000	
Teta <sub>1 1min</sub> (°) =	135,000	Teta <sub>2 2máx</sub> (°) =	-	RSL (dB) >=	15,000	RMI <sub>min</sub> (dB) >=   RMM (Adm) =	50,000	
Tam. Pop. =	100	Recomb. =	35,00%	Mutação =	10,00%	Fator de Dilatação =	1,00	
Simulação Nº	Teta (°)	Beta (°)	RSL (dB)	RMI <sub>min</sub>   RMM (dB   Adm)	Aptidão (Adm)	Converg. (Gerações)	Tempo (minutos)	CPU - Clock (GHz)
01	89,954	-0,002	23,979	59,736	15,778295	209	29,222	P4 - 2.8*
02	89,954	-0,011	23,315	54,950	14,616866	250	29,064	P4 - 2.8*
03	89,954	-0,030	27,402	61,299	23,400158	300	29,045	P4 - 2.8*
04	89,954	179,909	26,103	50,192	20,148528	238	29,104	P4 - 2.8*
05	89,954	179,909	24,452	69,687	16,659967	223	29,069	P4 - 2.8*
06	89,954	0,030	25,782	76,891	19,418245	231	29,065	P4 - 2.8*
07	89,954	-0,256	22,967	66,263	14,042037	278	29,072	P4 - 2.8*
08	89,954	-0,067	27,450	52,162	23,528674	272	29,384	P4 - 2.8*
09	89,954	-0,033	27,485	71,306	23,623646	282	28,966	P4 - 2.8*
10	89,954	-179,889	25,188	52,865	18,133751	226	29,076	P4 - 2.8*
<b>Mínimo</b>	<b>89,954</b>	<b>-179,889</b>	<b>22,967</b>	<b>50,192</b>	<b>14,042037</b>	<b>209</b>	<b>28,966</b>	-
<b>Máximo</b>	<b>89,954</b>	<b>179,909</b>	<b>27,485</b>	<b>76,891</b>	<b>23,623646</b>	<b>300</b>	<b>29,384</b>	-
<b>Média<sub>Sem Erros</sub></b>	<b>89,954</b>	<b>-</b>	<b>25,412</b>	<b>61,535</b>	<b>18,935017</b>	<b>251</b>	<b>29,107</b>	-
<b>Comentário:</b>	O teste de interferência diagonal não apresenta erros nos resultados. O posicionamento do lóbulo principal na condição normal ao eixo do arranjo linear permite obter maior diretividade, facilitando o posicionamento de outros pontos do diagrama de radiação, inclusive de "nulós". Neste caso, foi utilizado um valor menor de RMI <sub>min</sub> : 50 dB, visando obter melhores resultados para o apontamento e o RSL, sendo possível fazer esta redução pelo fato de 50 dB ser o valor especificado no trabalho como um "nulo" no diagrama. Na coluna CPU - Clock (GHz), os "*" indicam que foi usada a versão 3.0 do Scilab nas simulações e não a versão 3.1.1.							

Otimização de Arranjos de Antenas com Algoritmos Genéticos - O3AG							Versão:	2.0
Teste:	I - Interferência Diagonal			Arquivo:	o3ag_v2.0.sci		Data:	12/12/05
Tipo de Antenas:	Isotrópica	Nº de Elem.:	40	Espaçam.:	$\lambda / 4$	Teta <sub>o</sub> (°) =	10,000	
Teta <sub>1</sub> /min (°) =	55,000	Teta <sub>2</sub> /máx (°) =	-	RSL (dB) >=	15,000	RMI <sub>min</sub> (dB) >=   RMM (Adm) =	50,000	
Tam. Pop. =	100	Recomb. =	35,00%	Mutação =	10,00%	Fator de Dilatação =	1,00	
Simulação Nº	Teta (°)	Beta (°)	RSL (dB)	RMI <sub>min</sub>   RMM (dB   Adm)	Aptidão (Adm)	Converg. (Gerações)	Tempo (minutos)	CPU - Clock (GHz)
01	10,313	-44,255	21,100	68,474	10,335922	294	29,246	P4 - 2.8*
02	9,740	135,623	17,902	81,998	7,357608	238	29,246	P4 - 2.8*
03	10,313	-44,251	20,451	53,917	9,591566	285	29,245	P4 - 2.8*
04	10,313	135,710	18,503	51,192	7,664470	262	29,253	P4 - 2.8*
05	9,740	135,670	23,643	52,671	14,249792	291	29,268	P4 - 2.8*
06	9,740	-44,313	16,935	50,525	6,582726	193	29,368	P4 - 2.8*
07	10,313	135,737	19,551	53,574	8,647609	225	29,263	P4 - 2.8*
08	9,740	-51,418	42,440	52,705	3,790058	282	29,214	P4 - 2.8*
09	9,740	-44,358	22,827	55,154	12,972557	299	29,197	P4 - 2.8*
10	10,313	135,757	23,823	67,473	14,141032	282	29,001	P4 - 2.8*
<b>Mínimo</b>	<b>9,740</b>	<b>-51,418</b>	<b>12,140</b>	<b>50,525</b>	<b>3,790058</b>	<b>193</b>	<b>29,001</b>	-
<b>Máximo</b>	<b>10,313</b>	<b>135,757</b>	<b>23,823</b>	<b>81,998</b>	<b>14,249792</b>	<b>299</b>	<b>29,368</b>	-
<b>Média<sub>Sem Erros</sub></b>	<b>10,059</b>	<b>-</b>	<b>20,526</b>	<b>59,442</b>	<b>10,171476</b>	<b>263</b>	<b>29,232</b>	-
<b>Comentário:</b>	O teste de interferência diagonal apresenta não-conformidades nos resultados, devido a um erro de baixo valor de RSL. Tal erro fica dentro do proposto para esta aplicação do O3AG, isto é, uma capacidade de alcançar soluções ótimas em, pelo menos, 70% das tentativas. Outrossim, o erro pode ser explicado pela dificuldade de controlar o diagrama de radiação do arranjo linear, quanto ao posicionamento de lóbulos e "nulos" em ângulos próximos à condição axial de radiação (end-fire). Neste caso, foi utilizado um valor menor de RMI <sub>min</sub> , 50 dB, visando obter melhores resultados para o apontamento e o RSL, sendo possível fazer esta redução pelo fato de 50 dB ser o valor especificado no trabalho como um "nulo" no diagrama. Na coluna CPU - Clock (GHz), os "*" indicam que foi usada a versão 3.0 do Scilab nas simulações e não a versão 3.1.1.							

Otimização de Arranjos de Antenas com Algoritmos Genéticos - O3AG							Versão:	2.0
Teste:	J - Interferência Frontal			Arquivo:	o3ag_v2.0.sci		Data:	12/12/05
Tipo de Antenas:	Isotrópica	Nº de Elem.:	40	Espaçam.:	$\lambda / 4$	Teta <sub>o</sub> (°) =	45,000	
Teta <sub>1</sub> /min (°) =	135,000	Teta <sub>2</sub> /máx (°) =	-	RSL (dB) >=	15,000	RMI <sub>min</sub> (dB) >=   RMM (Adm) =	60,000	
Tam. Pop. =	100	Recomb. =	35,00%	Mutação =	10,00%	Fator de Dilatação =	1,00	
Simulação Nº	Teta (°)	Beta (°)	RSL (dB)	RMI <sub>min</sub>   RMM (dB   Adm)	Aptidão (Adm)	Converg. (Gerações)	Tempo (minutos)	CPU - Clock (GHz)
01	45,264	-31,702	19,748	93,659	9,082143	289	46,940	P4 - 1.7*
02	44,691	147,941	20,803	64,886	10,011305	109	47,002	P4 - 1.7*
03	45,264	-31,640	17,969	60,614	7,400433	157	46,936	P4 - 1.7*
04	45,264	-31,670	19,814	65,962	9,151910	128	46,980	P4 - 1.7*
05	45,264	148,290	22,965	63,717	13,154057	221	47,009	P4 - 1.7*
06	45,264	-31,729	22,833	60,221	12,955073	235	47,036	P4 - 1.7*
07	44,691	-31,929	19,438	83,357	8,554592	289	46,995	P4 - 1.7*
08	45,264	148,356	23,241	68,336	13,579541	299	47,297	P4 - 1.7*
09	45,264	-31,718	19,451	63,550	8,777573	222	47,288	P4 - 1.7*
10	45,264	148,337	23,873	81,583	14,604446	209	47,292	P4 - 1.7*
<b>Mínimo</b>	<b>44,691</b>	<b>-31,929</b>	<b>17,969</b>	<b>60,221</b>	<b>7,400433</b>	<b>109</b>	<b>46,936</b>	-
<b>Máximo</b>	<b>45,264</b>	<b>148,356</b>	<b>23,873</b>	<b>93,659</b>	<b>14,604446</b>	<b>299</b>	<b>47,297</b>	-
<b>Média<sub>Sem Erros</sub></b>	<b>45,149</b>	<b>-</b>	<b>21,014</b>	<b>70,589</b>	<b>10,727107</b>	<b>216</b>	<b>47,078</b>	-
<b>Comentário:</b>	O teste de interferência lateral não apresenta erros nos resultados. Novamente, tal qual aconteceu nos testes C, F e G, o posicionamento do lóbulo principal com 45°, em relação ao eixo do arranjo linear, mostra grande flexibilidade para posicionar "nulos" do diagrama de radiação em outras direções. Destaca-se ainda o formidável valor do RMI <sub>min</sub> , superior a 93 dB obtido no teste J01. Na coluna CPU - Clock (GHz), os "*" indicam que foi usada a versão 3.0 do Scilab nas simulações e não a versão 3.1.1.							

# Apêndice V - Testes da Função O3AG Versão 2.1

Otimização de Arranjos de Antenas com Algoritmos Genéticos - O3AG							Versão:	2.1
Teste:	A - Interferência Quase-Axial Dupla			Arquivo:	o3ag_v2.1.sci		Data:	13/12/05
Tipo de Antenas:	Isotrópica	Nº de Elem.:	40	Espaçam.:	$\lambda / 4$	Teta <sub>0</sub> (°) =	90,000	
Teta <sub>1</sub> /min (°) =	10,000	Teta <sub>2</sub> /máx (°) =	170,000	RSL (dB) >=	15,000	RMI <sub>min</sub> (dB) >=   RMM (Adm) =	50,000	
Tam. Pop. =	100	Recomb. =	35,00%	Mutação =	10,00%	Fator de Dilatação =	1,00	
Simulação Nº	Teta (°)	Beta (°)	RSL (dB)	RMI <sub>min</sub>   RMM (dB   Adm)	Aptidão (Adm)	Converg. (Gerações)	Tempo (minutos)	CPU - Clock (GHz)
01	89,954	-0,099	24,985	52,596	17,715265	217	28,563	P4 - 2.8*
02	89,954	-0,012	21,636	54,795	12,047092	292	28,514	P4 - 2.8*
03	89,954	179,909	21,675	51,209	12,102081	268	28,515	P4 - 2.8*
04	89,954	-0,248	22,331	56,373	13,050705	245	28,515	P4 - 2.8*
05	<del>89,381</del>	-0,371	22,940	51,827	10,146027	261	28,590	P4 - 2.8*
06	89,954	-0,052	22,055	65,906	12,643431	288	-	P4 - 2.8*
07	89,954	-0,041	22,067	65,704	12,660246	271	-	P4 - 2.8*
08	89,954	-0,062	20,213	62,482	10,226580	242	-	P4 - 2.8*
09	89,954	0,001	24,098	58,711	15,995279	264	-	P4 - 2.8*
10	89,954	-0,028	23,568	64,365	15,048128	250	-	P4 - 2.8*
<b>Mínimo</b>	<b>89,381</b>	<b>-0,371</b>	<b>20,213</b>	<b>51,209</b>	<b>10,146027</b>	<b>217</b>	<b>28,514</b>	-
<b>Máximo</b>	<b>89,954</b>	<b>179,909</b>	<b>24,985</b>	<b>65,906</b>	<b>17,715265</b>	<b>292</b>	<b>28,590</b>	-
<b>Média<sub>Sem Erros</sub></b>	<b>89,954</b>	<b>-</b>	<b>22,514</b>	<b>59,127</b>	<b>13,498756</b>	<b>260</b>	<b>28,527</b>	-
<b>Comentário:</b>	O teste de interferência quase-axial dupla apresenta não-conformidades nos resultados, devido a um erro de apontamento. Além de atender o proposto para esta aplicação do O3AG (capacidade de alcançar soluções ótimas em 70% das tentativas), este erro não foi grosseiro, pois o valor ficou próximo ao desejado. Com isso, pode-se considerar que os resultados foram excelentes, já que, assim, praticamente não houve erros, apesar da dificuldade de controlar o diagrama de radiação do arranjo linear para posicionar "nulos" em ângulos próximos à condição axial de radiação (end-fire), que, neste caso, foi duplicada. Na coluna CPU - Clock (GHz), os *** indicam que foi usada a versão 3.0 do Scilab nas simulações e não a versão 3.1.1.							

Otimização de Arranjos de Antenas com Algoritmos Genéticos - O3AG							Versão:	2.1
Teste:	B - Interferência Quase-Axial Dupla			Arquivo:	o3ag_v2.1.sci		Data:	13/12/05
Tipo de Antenas:	Isotrópica	Nº de Elem.:	40	Espaçam.:	$\lambda / 4$	Teta <sub>0</sub> (°) =	10,000	
Teta <sub>1</sub> /min (°) =	20,000	Teta <sub>2</sub> /máx (°) =	170,000	RSL (dB) >=	15,000	RMI <sub>min</sub> (dB) >=   RMM (Adm) =	50,000	
Tam. Pop. =	100	Recomb. =	35,00%	Mutação =	10,00%	Fator de Dilatação =	1,00	
Simulação Nº	Teta (°)	Beta (°)	RSL (dB)	RMI <sub>min</sub>   RMM (dB   Adm)	Aptidão (Adm)	Converg. (Gerações)	Tempo (minutos)	CPU - Clock (GHz)
01	9,740	135,673	18,924	<del>2,236</del>	2,069075	299	46,915	P4 - 1.7*
02	10,313	129,466	13,410	<del>4,250</del>	1,066045	275	46,704	P4 - 1.7*
03	9,740	-44,374	21,405	<del>2,377</del>	2,753156	292	46,733	P4 - 1.7*
04	9,740	135,645	22,938	<del>1,938</del>	3,284616	230	46,749	P4 - 1.7*
05	9,740	-44,353	20,771	<del>2,100</del>	2,559544	289	46,732	P4 - 1.7*
06	10,313	-44,279	20,826	<del>2,109</del>	2,503875	261	46,726	P4 - 1.7*
07	10,313	128,700	17,444	<del>2,845</del>	1,696167	114	46,713	P4 - 1.7*
08	9,740	-44,321	21,320	<del>1,977</del>	2,726393	244	46,772	P4 - 1.7*
09	9,740	-44,337	20,301	<del>1,932</del>	2,424695	274	46,732	P4 - 1.7*
10	10,313	135,721	22,791	<del>1,685</del>	3,139185	280	-	P4 - 1.7*
<b>Mínimo</b>	<b>9,740</b>	<b>-44,374</b>	<b>13,410</b>	<b>-</b>	<b>1,066045</b>	<b>114</b>	<b>46,704</b>	-
<b>Máximo</b>	<b>10,313</b>	<b>135,721</b>	<b>22,938</b>	<b>-</b>	<b>3,284616</b>	<b>299</b>	<b>46,915</b>	-
<b>Média<sub>Sem Erros</sub></b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	-
<b>Comentário:</b>	O teste de interferência quase-axial dupla apresenta não-conformidades nos resultados, devido a um erro de baixo valor de RSL e erros de baixos valores de RMI em todos os casos. Assim como ocorreu para o teste de uma interferência quase-axial (na versão 2.0 do O3AG), estes erros de RMI indicam a impossibilidade de direcionar um "nulo" do diagrama de radiação nesta direção, pois o posicionamento do lóbulo principal muito próximo a condição axial (end fire) exige uma maior largura de feixe (compromisso de projeto), o que impede de eliminar um sinal interferente apenas 10° acima do referido lóbulo. Na coluna CPU - Clock (GHz), os *** indicam que foi usada a versão 3.0 do Scilab nas simulações e não a versão 3.1.1.							

Otimização de Arranjos de Antenas com Algoritmos Genéticos - O3AG							Versão:	2.1
Teste:	C - Interferência Quase-Axial Dupla			Arquivo:	o3ag_v2.1.sci		Data:	13/12/05
Tipo de Antenas:	Isotrópica	Nº de Elem.:	40	Espaçam.:	$\lambda / 4$	Teta <sub>0</sub> (°) =	45,000	
Teta <sub>1 1min</sub> (°) =	10,000	Teta <sub>2 2máx</sub> (°) =	170,000	RSL (dB) >=	15,000	RMI <sub>min</sub> (dB) >=   RMM (Adm) =	50,000	
Tam. Pop. =	100	Recomb. =	35,00%	Mutação =	10,00%	Fator de Dilatação =	1,00	
Simulação Nº	Teta (°)	Beta (°)	RSL (dB)	RMI <sub>min</sub>   RMM (dB   Adm)	Aptidão (Adm)	Converg. (Gerações)	Tempo (minutos)	CPU - Clock (GHz)
01	45,264	-31,765	24,232	55,001	15,219467	195	46,666	P4 - 1.7*
02	44,691	147,908	25,257	52,534	16,717259	294	46,431	P4 - 1.7*
03	45,264	148,343	19,419	65,028	8,744999	154	46,435	P4 - 1.7*
04	45,264	148,297	23,062	55,199	13,301963	300	46,472	P4 - 1.7*
05	45,264	148,294	20,692	76,986	10,125584	148	46,439	P4 - 1.7*
06	45,264	-31,782	18,169	50,297	7,573109	197	46,490	P4 - 1.7*
07	44,691	-31,853	17,969	56,576	7,223971	278	46,400	P4 - 1.7*
08	44,691	-31,993	20,439	53,183	9,599580	299	46,555	P4 - 1.7*
09	45,264	-31,676	20,160	50,680	9,523606	158	46,672	P4 - 1.7*
10	45,264	-31,518	17,710	50,388	7,182979	284	46,618	P4 - 1.7*
<b>Mínimo</b>	<b>44,691</b>	<b>-31,993</b>	<b>17,710</b>	<b>50,297</b>	<b>7,182979</b>	<b>148</b>	<b>46,400</b>	-
<b>Máximo</b>	<b>45,264</b>	<b>148,343</b>	<b>25,257</b>	<b>76,986</b>	<b>16,717259</b>	<b>300</b>	<b>46,672</b>	-
<b>Média<sub>Sem Erros</sub></b>	<b>45,092</b>	<b>-</b>	<b>20,711</b>	<b>56,587</b>	<b>10,521252</b>	<b>231</b>	<b>46,518</b>	-
<b>Comentário:</b>	O teste de interferência quase-axial dupla não apresenta erros nos resultados. Apesar da dificuldade de controlar o diagrama de radiação do arranjo linear para o posicionamento "nulos" em ângulos próximos à condição axial de radiação (end-fire), o AG atingiu excelentes resultados, sem quaisquer erros. Destaca-se, tal qual foi feito nos testes da versão 2.0 do O3AG, que o posicionamento do lóbulo principal com 45°, em relação ao eixo do arranjo linear, permite grande flexibilidade no posicionamento de "nulos" do diagrama de radiação em outras direções. Na coluna CPU - Clock (GHz), os "*" indicam que foi usada a versão 3.0 do Scilab nas simulações e não a versão 3.1.1.							

Otimização de Arranjos de Antenas com Algoritmos Genéticos - O3AG							Versão:	2.1
Teste:	D - Interferência Quase-Adjacente Dupla			Arquivo:	o3ag_v2.1.sci		Data:	13/12/05
Tipo de Antenas:	Isotrópica	Nº de Elem.:	40	Espaçam.:	$\lambda / 4$	Teta <sub>0</sub> (°) =	90,000	
Teta <sub>1 1min</sub> (°) =	130,000	Teta <sub>2 máx</sub> (°) =	140,000	RSL (dB) >=	15,000	RMI <sub>min</sub> (dB) >=   RMM (Adm) =	50,000	
Tam. Pop. =	100	Recomb. =	35,00%	Mutação =	10,00%	Fator de Dilatação =	1,00	
Simulação Nº	Teta (°)	Beta (°)	RSL (dB)	RMI <sub>min</sub>   RMM (dB   Adm)	Aptidão (Adm)	Converg. (Gerações)	Tempo (minutos)	CPU - Clock (GHz)
01	89,954	-0,100	24,644	50,213	17,032730	299	28,797	P4 - 2.8*
02	89,954	-0,185	20,663	50,292	10,770347	285	28,761	P4 - 2.8*
03	89,954	0,058	21,536	52,372	11,910107	299	28,749	P4 - 2.8*
04	89,954	0,000	23,224	50,098	14,464661	292	28,777	P4 - 2.8*
05	89,954	0,031	26,616	50,041	21,374403	228	28,771	P4 - 2.8*
06	89,954	-0,168	22,322	56,718	13,037703	260	28,759	P4 - 2.8*
07	89,954	-0,047	21,653	51,817	12,071055	229	28,774	P4 - 2.8*
08	89,954	-0,047	20,664	50,142	10,771689	250	28,745	P4 - 2.8*
09	89,954	-0,108	24,596	52,237	16,939827	233	28,760	P4 - 2.8*
10	89,954	-0,235	19,526	50,677	9,449778	272	28,755	P4 - 2.8*
<b>Mínimo</b>	<b>89,954</b>	<b>-0,235</b>	<b>19,526</b>	<b>50,041</b>	<b>9,449778</b>	<b>228</b>	<b>28,745</b>	-
<b>Máximo</b>	<b>89,954</b>	<b>0,058</b>	<b>26,616</b>	<b>56,718</b>	<b>21,374403</b>	<b>299</b>	<b>28,797</b>	-
<b>Média<sub>Sem Erros</sub></b>	<b>89,954</b>	<b>-</b>	<b>22,544</b>	<b>51,461</b>	<b>13,782230</b>	<b>265</b>	<b>28,765</b>	-
<b>Comentário:</b>	O teste de interferência quase-adjacente dupla não apresenta erros nos resultados. O posicionamento do lóbulo principal na condição normal ao eixo do arranjo linear permite obter maior diretividade, facilitando o posicionamento de outros pontos do diagrama de radiação, inclusive de "nulos". Na coluna CPU - Clock (GHz), os "*" indicam que foi usada a versão 3.0 do Scilab nas simulações e não a versão 3.1.1.							

Otimização de Arranjos de Antenas com Algoritmos Genéticos - O3AG							Versão:	2.1
Teste:	E - Interferência Quase-Adjacente Dupla			Arquivo:	o3ag_v2.1.sci		Data:	13/12/05
Tipo de Antenas:	Isotrópica	Nº de Elem.:	40	Espaçam.:	$\lambda / 4$	Teta <sub>0</sub> (°) =	10,000	
Teta <sub>1 1min</sub> (°) =	130,000	Teta <sub>2 máx</sub> (°) =	140,000	RSL (dB) >=	15,000	RMI <sub>min</sub> (dB) >=   RMM (Adm) =	50,000	
Tam. Pop. =	100	Recomb. =	35,00%	Mutação =	10,00%	Fator de Dilatação =	1,00	
Simulação Nº	Teta (°)	Beta (°)	RSL (dB)	RMI <sub>min</sub>   RMM (dB   Adm)	Aptidão (Adm)	Converg. (Gerações)	Tempo (minutos)	CPU - Clock (GHz)
01	9,740	-44,314	19,933	59,383	9,295877	275	28,859	P4 - 2.8*
02	9,740	-44,315	16,460	52,420	6,232587	272	28,607	P4 - 2.8*
03	9,740	-44,318	18,834	54,060	8,190885	256	28,614	P4 - 2.8*
04	9,740	-77,923	40,170	40,249	0,755237	159	28,574	P4 - 2.8*
05	9,740	135,666	15,404	51,242	5,518697	101	28,660	P4 - 2.8*
06	9,740	-44,313	19,146	50,974	8,491069	296	28,654	P4 - 2.8*
07	9,740	-50,416	40,241	52,114	3,045950	199	28,630	P4 - 2.8*
08	10,313	-44,281	17,952	54,900	7,193917	261	28,703	P4 - 2.8*
09	10,313	-44,304	18,860	51,050	7,985942	148	28,695	P4 - 2.8*
10	9,740	135,682	17,064	52,535	6,680892	226	28,590	P4 - 2.8*
<b>Mínimo</b>	<b>9,740</b>	<b>-77,923</b>	<b>10,170</b>	<b>50,974</b>	<b>0,755237</b>	<b>101</b>	<b>28,574</b>	-
<b>Máximo</b>	<b>10,313</b>	<b>135,682</b>	<b>19,933</b>	<b>59,383</b>	<b>9,295877</b>	<b>296</b>	<b>28,859</b>	-
<b>Média<sub>Sem Erros</sub></b>	<b>9,884</b>	<b>-</b>	<b>17,957</b>	<b>53,320</b>	<b>7,448733</b>	<b>229</b>	<b>28,673</b>	-
<b>Comentário:</b>	O teste de interferência quase-adjacente dupla apresenta não-conformidades nos resultados, devido a erros de baixos valores de RSL e um erro de baixo valor de RMI. Esta quantidade de erros está dentro do proposto para esta aplicação do O3AG, isto é, uma capacidade de alcançar soluções ótimas em, pelo menos, 70% das tentativas. Outrossim, os erros podem ser explicados pela dificuldade de controlar o diagrama de radiação do arranjo linear, quanto ao posicionamento do lóbulo principal em ângulos próximos à condição axial de radiação (end-fire). Na coluna CPU - Clock (GHz), os "*" indicam que foi usada a versão 3.0 do Scilab nas simulações e não a versão 3.1.1.							



Otimização de Arranjos de Antenas com Algoritmos Genéticos - O3AG							Versão:	2.1
Teste:	F - Interferência Quase-Adjacente Dupla		Arquivo:	o3ag_v2.1.sci		Data:	13/12/05	
Tipo de Antenas:	Isotrópica	Nº de Elem.:	40	Espaçam.:	$\lambda / 4$	Teta <sub>0</sub> (°) =	45,000	
Teta <sub>1 1min</sub> (°) =	130,000	Teta <sub>2 2máx</sub> (°) =	140,000	RSL (dB) >=	15,000	RMI <sub>min</sub> (dB) >=   RMM (Adm) =	50,000	
Tam. Pop. =	100	Recomb. =	35,00%	Mutação =	10,00%	Fator de Dilatação =	1,00	
Simulação Nº	Teta (°)	Beta (°)	RSL (dB)	RMI <sub>min</sub>   RMM (dB   Adm)	Aptidão (Adm)	Converg. (Gerações)	Tempo (minutos)	CPU - Clock (GHz)
01	45,264	-31,513	19,196	61,069	8,523441	104	28,477	P4 - 2.8*
02	44,691	-32,041	21,234	50,209	10,519723	287	28,498	P4 - 2.8*
03	45,264	148,255	19,980	53,070	9,328117	222	28,486	P4 - 2.8*
04	45,264	-31,564	17,676	52,233	7,155027	84	28,463	P4 - 2.8*
05	44,691	-32,007	22,243	54,603	11,816638	145	28,513	P4 - 2.8*
06	45,264	-31,661	20,696	54,930	10,129776	295	28,498	P4 - 2.8*
07	45,264	148,424	20,335	54,331	9,718075	242	28,497	P4 - 2.8*
08	45,264	-31,553	16,997	50,917	6,617005	75	28,503	P4 - 2.8*
09	44,691	-32,091	18,632	57,825	7,796593	291	28,490	P4 - 2.8*
10	45,264	148,396	20,080	51,880	9,436266	262	28,527	P4 - 2.8*
<b>Mínimo</b>	<b>44,691</b>	<b>-32,091</b>	<b>16,997</b>	<b>50,209</b>	<b>6,617005</b>	<b>75</b>	<b>28,463</b>	-
<b>Máximo</b>	<b>45,264</b>	<b>148,424</b>	<b>22,243</b>	<b>61,069</b>	<b>11,816638</b>	<b>295</b>	<b>28,527</b>	-
<b>Média<sub>Sem Erros</sub></b>	<b>45,092</b>	<b>-</b>	<b>19,707</b>	<b>54,107</b>	<b>9,104066</b>	<b>201</b>	<b>28,495</b>	-
<b>Comentário:</b>	O teste de interferência quase-adjacente dupla não apresenta erros nos resultados. Novamente, como ocorreu no teste C, o posicionamento do lóbulo principal com 45°, em relação ao eixo do arranjo linear, mostra grande flexibilidade para posicionar "nulos" do diagrama de radiação em outras direções. Na coluna CPU - Clock (GHz), os "*" indicam que foi usada a versão 3.0 do Scilab nas simulações e não a versão 3.1.1.							

Otimização de Arranjos de Antenas com Algoritmos Genéticos - O3AG							Versão:	2.1
Teste:	G - Interferência Frontal Dupla		Arquivo:	o3ag_v2.1.sci		Data:	13/12/05	
Tipo de Antenas:	Isotrópica	Nº de Elem.:	40	Espaçam.:	$\lambda / 4$	Teta <sub>0</sub> (°) =	90,000	
Teta <sub>1 1min</sub> (°) =	100,000	Teta <sub>2 2máx</sub> (°) =	80,000	RSL (dB) >=	15,000	RMI <sub>min</sub> (dB) >=   RMM (Adm) =	50,000	
Tam. Pop. =	100	Recomb. =	35,00%	Mutação =	10,00%	Fator de Dilatação =	1,00	
Simulação Nº	Teta (°)	Beta (°)	RSL (dB)	RMI <sub>min</sub>   RMM (dB   Adm)	Aptidão (Adm)	Converg. (Gerações)	Tempo (minutos)	CPU - Clock (GHz)
01	89,954	-0,196	28,194	52,142	25,631879	291	29,135	P4 - 2.8*
02	89,954	-0,170	28,734	50,274	27,276511	290	29,622	P4 - 2.8*
03	89,954	-0,127	26,112	57,437	20,168521	292	29,074	P4 - 2.8*
04	89,954	-0,246	23,231	52,264	14,476349	192	29,021	P4 - 2.8*
05	89,954	179,747	29,644	52,271	30,289979	235	29,405	P4 - 2.8*
06	89,954	-0,009	21,931	73,388	12,463800	265	29,768	P4 - 2.8*
07	89,954	0,073	23,000	53,546	14,096469	160	30,113	P4 - 2.8*
08	89,954	-0,052	24,329	50,962	16,426014	269	30,475	P4 - 2.8*
09	89,954	-0,252	23,193	51,551	14,412480	248	29,219	P4 - 2.8*
10	89,954	179,909	22,809	52,438	13,790051	262	28,642	P4 - 2.8*
<b>Mínimo</b>	<b>89,954</b>	<b>-0,252</b>	<b>21,931</b>	<b>50,274</b>	<b>12,463800</b>	<b>160</b>	<b>28,642</b>	-
<b>Máximo</b>	<b>89,954</b>	<b>179,909</b>	<b>29,644</b>	<b>73,388</b>	<b>30,289979</b>	<b>292</b>	<b>30,475</b>	-
<b>Média<sub>Sem Erros</sub></b>	<b>89,954</b>	<b>-</b>	<b>25,118</b>	<b>54,627</b>	<b>18,903205</b>	<b>249</b>	<b>29,448</b>	-
<b>Comentário:</b>	O teste de interferência frontal dupla não apresenta erros nos resultados. Tal qual ocorreu no teste de interferência normal para o O3AG versão 2.0, o posicionamento do lóbulo principal na condição normal ao eixo do arranjo linear permite a máxima diretividade e melhor controle da largura de feixe, de tal forma que se pode ter um feixe mais estreito e, conseqüentemente, "nulos" próximos ao lóbulo principal. Por isso, mesmo com sinais interferentes com apenas ±10° de diferença do referido lóbulo, ainda foi possível posicionar um "nulo" nas direções de chegada das interferências. Na coluna CPU - Clock (GHz), os "*" indicam que foi usada a versão 3.0 do Scilab nas simulações e não a versão 3.1.1.							

Otimização de Arranjos de Antenas com Algoritmos Genéticos - O3AG							Versão:	2.1
Teste:	H - Interferência Frontal Dupla		Arquivo:	o3ag_v2.1.sci		Data:	13/12/05	
Tipo de Antenas:	Isotrópica	Nº de Elem.:	40	Espaçam.:	$\lambda / 4$	Teta <sub>0</sub> (°) =	10,000	
Teta <sub>1 1min</sub> (°) =	20,000	Teta <sub>2 2máx</sub> (°) =	30,000	RSL (dB) >=	15,000	RMI <sub>min</sub> (dB) >=   RMM (Adm) =	50,000	
Tam. Pop. =	100	Recomb. =	35,00%	Mutação =	10,00%	Fator de Dilatação =	1,00	
Simulação Nº	Teta (°)	Beta (°)	RSL (dB)	RMI <sub>min</sub>   RMM (dB   Adm)	Aptidão (Adm)	Converg. (Gerações)	Tempo (minutos)	CPU - Clock (GHz)
01	9,740	135,639	18,548	2,323	1,981560	67	47,041	P4 - 1.7*
02	10,313	-44,283	19,396	2,473	2,123695	254	46,937	P4 - 1.7*
03	9,740	-44,362	20,587	2,349	2,505908	239	47,022	P4 - 1.7*
04	9,740	135,638	19,545	2,305	2,222495	233	47,012	P4 - 1.7*
05	9,740	-44,381	19,788	2,442	2,285467	221	46,831	P4 - 1.7*
06	10,313	129,488	16,404	3,667	0,376225	160	46,756	P4 - 1.7*
07	9,740	-44,329	19,833	2,272	2,297550	211	46,926	P4 - 1.7*
08	10,313	-44,273	19,768	2,482	2,216718	179	46,851	P4 - 1.7*
09	9,740	-44,341	19,371	2,258	2,178480	267	46,939	P4 - 1.7*
10	9,740	-44,329	19,833	2,272	2,297550	211	-	P4 - 1.7*
<b>Mínimo</b>	<b>9,740</b>	<b>-44,381</b>	<b>16,404</b>	<b>-</b>	<b>0,376225</b>	<b>67</b>	<b>46,756</b>	-
<b>Máximo</b>	<b>10,313</b>	<b>135,639</b>	<b>20,587</b>	<b>-</b>	<b>2,505908</b>	<b>267</b>	<b>47,041</b>	-
<b>Média<sub>Sem Erros</sub></b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	-
<b>Comentário:</b>	O teste de interferência frontal dupla apresenta não-conformidades nos resultados, devido erros de baixos valores de RMI em todos os casos. Novamente, assim como ocorreu para o teste de uma interferência quase-axial para o lóbulo principal a 10°, na versão 2.0 do O3AG, estes erros de RMI indicam a impossibilidade de direcionar um "nulo" do diagrama de radiação nesta direção, pois o posicionamento do lóbulo principal muito próximo a condição axial (end fire) exige uma maior largura de feixe (compromisso de projeto), o que impede de eliminar um sinal interferente apenas 10° acima do referido lóbulo. Na coluna CPU - Clock (GHz), os "*" indicam que foi usada a versão 3.0 do Scilab nas simulações e não a versão 3.1.1.							

Otimização de Arranjos de Antenas com Algoritmos Genéticos - O3AG							Versão:	2.1	
Teste:	I - Interferência Frontal Dupla			Arquivo:	o3ag_v2.1.sci		Data:	13/12/05	
Tipo de Antenas:	Isotrópica	Nº de Elem.:	40	Espaçam.:	$\lambda / 4$	Teta <sub>0</sub> (°) =	45,000		
Teta <sub>1 1min</sub> (°) =	55,000	Teta <sub>2 2máx</sub> (°) =	35,000	RSLL (dB) >=	15,000	RMI <sub>min</sub> (dB) >=   RMM (Adm) =	50,000		
Tam. Pop. =	100	Recomb. =	35,00%	Mutação =	10,00%	Fator de Dilatação =			1,00
Simulação Nº	Teta (°)	Beta (°)	RSLL (dB)	RMI <sub>min</sub>   RMM (dB   Adm)	Aptidão (Adm)	Converg. (Gerações)	Tempo (minutos)	CPU - Clock (GHz)	
01	45,264	-31,533	19,893	53,707	9,235486	293	29,410	P4 - 2.8*	
02	45,264	148,173	22,596	24,844	3,151642	260	28,526	P4 - 2.8*	
03	45,264	-31,772	22,003	23,404	2,943721	234	28,530	P4 - 2.8*	
04	45,264	-31,513	19,921	51,634	9,265285	295	28,674	P4 - 2.8*	
05	45,264	-31,679	20,409	28,197	2,450129	182	28,632	P4 - 2.8*	
06	44,691	148,166	22,976	24,630	3,214124	250	28,780	P4 - 2.8*	
07	44,691	-32,002	22,930	47,995	3,197145	295	30,284	P4 - 2.8*	
08	45,264	148,466	20,447	55,429	9,843753	282	29,313	P4 - 2.8*	
09	45,264	148,459	18,991	51,426	8,324827	277	31,587	P4 - 2.8*	
10	45,264	-31,793	22,918	22,696	3,270722	274	29,371	P4 - 2.8*	
<b>Mínimo</b>	<b>44,691</b>	<b>-32,002</b>	<b>18,991</b>	<b>51,634</b>	<b>2,450129</b>	<b>182</b>	<b>28,526</b>	-	
<b>Máximo</b>	<b>45,264</b>	<b>148,466</b>	<b>22,976</b>	<b>55,429</b>	<b>9,843753</b>	<b>295</b>	<b>31,587</b>	-	
<b>Média<sub>Sem Erros</sub></b>	<b>45,264</b>	<b>-</b>	<b>19,813</b>	<b>53,049</b>	<b>9,167338</b>	<b>287</b>	<b>29,746</b>	-	
<b>Comentário:</b>	O teste de interferência frontal dupla apresenta não-conformidades nos resultados, devido erros de baixos valores de RMI. Apesar dos outros testes com o lóbulo principal a 45°, em relação ao eixo do arranjo linear, terem mostrado grande flexibilidade no posicionamento de "nulos" no diagrama de radiação em outras direções, verifica-se que o controle acarreta razoável deformação do diagrama de radiação abaixo do lóbulo (ângulos menores que 45°). Isso reduz a disponibilidade de "nulos" nesta região, dificultando a eliminação de um sinal interferente apenas 10° abaixo do referido lóbulo. Na coluna CPU - Clock (GHz), os "" indicam que foi usada a versão 3.0 do Scilab nas simulações e não a versão 3.1.1.								

Otimização de Arranjos de Antenas com Algoritmos Genéticos - O3AG							Versão:	2.1	
Teste:	J - Interferência Diagonal-Lateral			Arquivo:	o3ag_v2.1.sci		Data:	13/12/05	
Tipo de Antenas:	Isotrópica	Nº de Elem.:	40	Espaçam.:	$\lambda / 4$	Teta <sub>0</sub> (°) =	90,000		
Teta <sub>1 1min</sub> (°) =	135,000	Teta <sub>2 máx</sub> (°) =	10,000	RSLL (dB) >=	15,000	RMI <sub>min</sub> (dB) >=   RMM (Adm) =	50,000		
Tam. Pop. =	100	Recomb. =	35,00%	Mutação =	10,00%	Fator de Dilatação =			1,00
Simulação Nº	Teta (°)	Beta (°)	RSLL (dB)	RMI <sub>min</sub>   RMM (dB   Adm)	Aptidão (Adm)	Converg. (Gerações)	Tempo (minutos)	CPU - Clock (GHz)	
01	89,954	-0,041	22,983	52,822	14,068227	152	28,635	P4 - 2.8*	
02	89,954	-0,146	24,223	51,602	16,226640	198	28,651	P4 - 2.8*	
03	89,954	-0,072	20,549	52,262	10,630903	117	28,617	P4 - 2.8*	
04	89,954	-0,031	20,891	50,434	11,056794	255	28,614	P4 - 2.8*	
05	89,954	-0,035	22,224	56,453	12,890941	299	28,612	P4 - 2.8*	
06	89,954	-0,105	23,976	50,359	15,772630	297	28,669	P4 - 2.8*	
07	89,954	-0,186	24,390	50,520	16,541575	188	28,639	P4 - 2.8*	
08	89,954	-0,023	16,521	53,330	6,685383	295	28,614	P4 - 2.8*	
09	89,954	-0,038	19,982	53,700	9,958003	278	28,611	P4 - 2.8*	
10	89,954	-0,061	22,010	52,273	12,577544	300	28,636	P4 - 2.8*	
<b>Mínimo</b>	<b>89,954</b>	<b>-0,186</b>	<b>16,521</b>	<b>50,359</b>	<b>6,685383</b>	<b>117</b>	<b>28,611</b>	-	
<b>Máximo</b>	<b>89,954</b>	<b>-0,023</b>	<b>24,390</b>	<b>56,453</b>	<b>16,541575</b>	<b>300</b>	<b>28,669</b>	-	
<b>Média<sub>Sem Erros</sub></b>	<b>89,954</b>	<b>-</b>	<b>21,775</b>	<b>52,376</b>	<b>12,640864</b>	<b>238</b>	<b>28,630</b>	-	
<b>Comentário:</b>	O teste de interferência diagonal-lateral não apresenta erros nos resultados. O posicionamento do lóbulo principal na condição normal ao eixo do arranjo linear permite obter maior diretividade, facilitando o posicionamento de outros pontos do diagrama de radiação, inclusive de "nulos", mesmo que estejam próximo à condição axial de propagação (end-fire). Na coluna CPU - Clock (GHz), os "" indicam que foi usada a versão 3.0 do Scilab nas simulações e não a versão 3.1.1.								

Otimização de Arranjos de Antenas com Algoritmos Genéticos - O3AG							Versão:	2.1	
Teste:	K - Interferência Diagonal-Lateral			Arquivo:	o3ag_v2.1.sci		Data:	13/12/05	
Tipo de Antenas:	Isotrópica	Nº de Elem.:	40	Espaçam.:	$\lambda / 4$	Teta <sub>0</sub> (°) =	10,000		
Teta <sub>1 1min</sub> (°) =	55,000	Teta <sub>2 máx</sub> (°) =	100,000	RSLL (dB) >=	15,000	RMI <sub>min</sub> (dB) >=   RMM (Adm) =	50,000		
Tam. Pop. =	100	Recomb. =	35,00%	Mutação =	10,00%	Fator de Dilatação =			1,00
Simulação Nº	Teta (°)	Beta (°)	RSLL (dB)	RMI <sub>min</sub>   RMM (dB   Adm)	Aptidão (Adm)	Converg. (Gerações)	Tempo (minutos)	CPU - Clock (GHz)	
01	9,740	129,020	42,426	52,941	3,916862	234	46,842	P4 - 1.7*	
02	10,313	-50,420	8,569	52,436	2,442323	96	46,583	P4 - 1.7*	
03	9,740	135,655	18,199	50,784	7,613485	296	46,673	P4 - 1.7*	
04	10,313	135,745	20,447	50,056	9,587742	284	46,739	P4 - 1.7*	
05	10,313	135,739	17,810	50,711	7,077146	293	46,637	P4 - 1.7*	
06	10,313	135,720	17,349	52,144	6,711029	295	46,654	P4 - 1.7*	
07	10,313	-44,309	18,993	51,964	8,110058	152	46,706	P4 - 1.7*	
08	10,313	-44,304	17,917	56,546	7,164422	119	46,706	P4 - 1.7*	
09	9,740	135,676	19,487	50,536	8,830582	294	46,782	P4 - 1.7*	
10	10,313	-44,304	16,894	55,650	6,368639	183	46,654	P4 - 1.7*	
<b>Mínimo</b>	<b>9,740</b>	<b>-50,420</b>	<b>8,569</b>	<b>50,056</b>	<b>2,442323</b>	<b>96</b>	<b>46,583</b>	-	
<b>Máximo</b>	<b>10,313</b>	<b>135,745</b>	<b>20,447</b>	<b>56,546</b>	<b>9,587742</b>	<b>296</b>	<b>46,842</b>	-	
<b>Média<sub>Sem Erros</sub></b>	<b>10,170</b>	<b>-</b>	<b>18,387</b>	<b>52,299</b>	<b>7,682888</b>	<b>240</b>	<b>46,694</b>	-	
<b>Comentário:</b>	O teste de interferência diagonal-lateral apresenta não-conformidades nos resultados, devido a erros de baixos valores de RSLL. Esta quantidade de erros está dentro do proposto para esta aplicação do O3AG, isto é, uma capacidade de alcançar soluções ótimas em, pelo menos, 70% das tentativas. Outrossim, os erros podem ser explicados pela dificuldade de controlar o diagrama de radiação do arranjo linear, quanto ao posicionamento do lóbulo principal em ângulos próximos à condição axial de radiação (end-fire). Na coluna CPU - Clock (GHz), os "" indicam que foi usada a versão 3.0 do Scilab nas simulações e não a versão 3.1.1.								

Otimização de Arranjos de Antenas com Algoritmos Genéticos - O3AG						Versão:	2.1	
Teste:	L - Interferência Diagonal-Lateral			Arquivo:	o3ag_v2.1.sci		Data:	13/12/05
Tipo de Antenas:	Isotrópica	Nº de Elem.:	40	Espaçam.:	$\lambda / 4$	Teta <sub>0</sub> (°) =	45,000	
Teta <sub>1</sub> /min (°) =	10,000	Teta <sub>2</sub> /máx (°) =	135,000	RSL (dB) >=	15,000	RMI <sub>min</sub> (dB) >=   RMM (Adm) =	50,000	
Tam. Pop. =	100	Recomb. =	35,00%	Mutação =	10,00%	Fator de Dilatação =	1,00	
Simulação Nº	Teta (°)	Beta (°)	RSL (dB)	RMI <sub>min</sub>   RMM (dB   Adm)	Aptidão (Adm)	Converg. (Gerações)	Tempo (minutos)	CPU - Clock (GHz)
01	45,264	-31,513	19,399	50,054	8,724655	284	28,960	P4 - 2.8*
02	45,264	-31,634	17,968	51,018	7,399824	150	28,795	P4 - 2.8*
03	44,691	-31,963	18,953	51,050	8,090433	222	28,777	P4 - 2.8*
04	44,691	147,876	18,689	51,925	7,848279	280	28,822	P4 - 2.8*
05	45,264	-31,657	18,692	54,939	8,043092	122	28,806	P4 - 2.8*
06	45,264	-31,640	17,088	55,124	6,686864	276	28,794	P4 - 2.8*
07	45,264	-31,802	22,265	50,786	12,135907	300	28,832	P4 - 2.8*
08	45,264	148,396	21,204	51,624	10,740516	290	28,868	P4 - 2.8*
09	44,691	148,149	17,830	51,033	7,108975	157	28,802	P4 - 2.8*
10	45,264	148,218	20,137	50,164	9,498384	156	28,821	P4 - 2.8*
<b>Mínimo</b>	<b>44,691</b>	<b>-31,963</b>	<b>17,088</b>	<b>50,054</b>	<b>6,686864</b>	<b>122</b>	<b>28,777</b>	-
<b>Máximo</b>	<b>45,264</b>	<b>148,396</b>	<b>22,265</b>	<b>55,124</b>	<b>12,135907</b>	<b>300</b>	<b>28,960</b>	-
<b>Média<sub>Sem Erros</sub></b>	<b>45,092</b>	<b>-</b>	<b>19,223</b>	<b>51,772</b>	<b>8,627693</b>	<b>224</b>	<b>28,828</b>	-
<b>Comentário:</b>	O teste de interferência diagonal-lateral não apresenta erros nos resultados. Apesar da dificuldade de controlar o diagrama de radiação do arranjo linear para o posicionamento de "nulos" em ângulos próximos à condição axial de radiação (end-fire), o AG atingiu excelentes resultados, sem quaisquer erros. Destaca-se, como ocorreu no teste C, que o posicionamento do lóbulo principal com 45°, em relação ao eixo do arranjo linear, permite grande flexibilidade no posicionamento de "nulos" do diagrama de radiação em outras direções. Na coluna CPU - Clock (GHz), os "*" indicam que foi usada a versão 3.0 do Scilab nas simulações e não a versão 3.1.1.							

## Apêndice VI - Testes da Função O3AG Versão 3.0

Otimização de Arranjos de Antenas com Algoritmos Genéticos - O3AG							Versão:	3.0	
Teste:	A - Função Objetivo			Arquivo:	o3ag_v3.0.sci		Data:	15/12/05	
Tipo de Antenas:	Isotrópica	Nº de Elem.:	12	Espaçam.:	$\lambda / 4$	Teta <sub>o</sub> (°) =	97,000		
Teta <sub>1</sub> min (°) =	97,000	Teta <sub>2</sub> max (°) =	175,000	RSL (dB) >=	-	RMI <sub>min</sub> (dB) >=   RMM (Adm) =	66,000		
Tam. Pop. =	100	Recomb. =	35,00%	Mutação =	10,00%	Fator de Dilatação =			1,00
Simulação N°	Teta (°)	Beta (°)	RSL (dB)	RMI <sub>min</sub>   RMM (dB   Adm)	Aptidão (Adm)	Converg. (Gerações)	Tempo (minutos)	CPU - Clock (GHz)	
01	96,830	5,380	26,012	66,108	1,263849	143	10,028	P4 - 2.8*	
02	96,830	5,470	10,301	66,000	0,500554	222	9,445	P4 - 2.8*	
03	96,830	5,281	29,949	65,665	1,453708	296	9,926	P4 - 2.8*	
04	96,830	5,400	18,464	67,246	0,883604	299	9,776	P4 - 2.8*	
05	96,830	5,379	10,947	67,467	0,520759	62	9,435	P4 - 2.8*	
06	96,830	5,264	29,000	65,946	1,409148	296	9,792	P4 - 2.8*	
07	96,830	5,367	10,760	66,418	0,521971	264	9,434	P4 - 2.8*	
08	96,830	5,131	24,683	66,891	1,189983	284	10,022	P4 - 2.8*	
09	96,830	5,196	24,956	65,906	1,212616	286	9,967	P4 - 2.8*	
10	97,403	5,858	39,267	66,181	1,688667	179	10,938	P4 - 2.8*	
<b>Mínimo</b>	<b>96,830</b>	<b>5,131</b>	<b>10,301</b>	<b>65,665</b>	<b>0,500554</b>	<b>62</b>	<b>9,434</b>	-	
<b>Máximo</b>	<b>97,403</b>	<b>5,858</b>	<b>39,267</b>	<b>67,467</b>	<b>1,688667</b>	<b>299</b>	<b>10,938</b>	-	
<b>Média<sub>Sem Erros</sub></b>	<b>96,887</b>	-	<b>22,434</b>	<b>66,383</b>	<b>1,064476</b>	<b>233</b>	<b>9,876</b>	-	
<b>Comentário:</b>	O teste da função objetivo não apresenta erros nos resultados. Na coluna CPU - Clock (GHz), os "*" indicam que foi usada a versão 3.0 do Scilab nas simulações e não a versão 3.1.1.								

# Apêndice VII - Testes da Função O3AG Versão 3.1

Otimização de Arranjos de Antenas com Algoritmos Genéticos - O3AG							Versão:	3.1
Teste:	A - Área de Cobertura			Arquivo:	o3ag_v3.1.sci		Data:	15/12/05
Tipo de Antenas:	Dipolo	Nº de Elem.:	6	Espaçam.:	0,86*λ	Teta <sub>o</sub> (°) =	97,000	
Teta <sub>1</sub> min (°) =	97,000	Teta <sub>2</sub> max (°) =	175,000	RSL (dB) >=	-	RMI <sub>min</sub> (dB) >=   RMM (Adm) =	66,000	
Tam. Pop. =	100	Recomb. =	35,00%	Mutação =	10,00%	Fator de Dilatação =	1,00	
Simulação Nº	Teta (°)	Beta (°)	RSL (dB)	RMI <sub>min</sub>   RMM (dB   Adm)	Aptidão (Adm)	Converg. (Gerações)	Tempo (minutos)	CPU - Clock (GHz)
01	96,830	35,914	13,358	65,691	0,648498	294	14,091	P4 - 2.8*
02	96,830	36,584	13,584	66,014	0,660073	285	14,023	P4 - 2.8*
03	96,830	35,992	13,443	65,849	0,653103	275	14,020	P4 - 2.8*
04	96,830	35,751	13,361	65,856	0,649141	282	14,031	P4 - 2.8*
05	96,830	35,751	13,698	66,481	0,664121	297	14,014	P4 - 2.8*
06	96,830	35,752	13,495	66,007	0,655782	203	14,014	P4 - 2.8*
07	96,830	35,831	13,592	65,984	0,660505	166	14,011	P4 - 2.8*
08	96,830	35,725	13,693	65,994	0,665399	297	14,014	P4 - 2.8*
09	96,830	35,766	13,373	66,169	0,649634	262	14,017	P4 - 2.8*
10	96,830	35,716	13,754	65,955	0,668359	230	13,998	P4 - 2.8*
<b>Mínimo</b>	<b>96,830</b>	<b>35,716</b>	<b>13,358</b>	<b>65,691</b>	<b>0,648498</b>	<b>166</b>	<b>13,998</b>	-
<b>Máximo</b>	<b>96,830</b>	<b>36,584</b>	<b>13,754</b>	<b>66,481</b>	<b>0,668359</b>	<b>297</b>	<b>14,091</b>	-
<b>Média<sub>Sem Erros</sub></b>	<b>96,830</b>	-	<b>13,535</b>	<b>66,000</b>	<b>0,657462</b>	<b>259</b>	<b>14,023</b>	-
<b>Comentário:</b>	O teste de área de cobertura não apresenta erros nos resultados. Isto comprova a adequação da função objetivo. Na coluna CPU - Clock (GHz), os "" indicam que foi usada a versão 3.0 do Scilab nas simulações e não a versão 3.1.1.							

Otimização de Arranjos de Antenas com Algoritmos Genéticos - O3AG							Versão:	3.1
Teste:	B - Área de Cobertura			Arquivo:	o3ag_v3.1.sci		Data:	15/12/05
Tipo de Antenas:	Dipolo	Nº de Elem.:	6	Espaçam.:	0,86*λ	Teta <sub>o</sub> (°) =	97,000	
Teta <sub>1</sub> min (°) =	97,000	Teta <sub>2</sub> max (°) =	135,000	RSL (dB) >=	-	RMI <sub>min</sub> (dB) >=   RMM (Adm) =	66,000	
Tam. Pop. =	100	Recomb. =	35,00%	Mutação =	10,00%	Fator de Dilatação =	1,00	
Simulação Nº	Teta (°)	Beta (°)	RSL (dB)	RMI <sub>min</sub>   RMM (dB   Adm)	Aptidão (Adm)	Converg. (Gerações)	Tempo (minutos)	CPU - Clock (GHz)
01	96,830	36,347	13,530	66,000	0,657460	233	14,015	P4 - 2.8*
02	96,830	36,077	13,690	66,088	0,665200	154	14,027	P4 - 2.8*
03	96,830	37,411	13,152	66,156	0,638956	52	14,023	P4 - 2.8*
04	96,830	37,698	13,229	66,058	0,642841	137	14,020	P4 - 2.8*
05	96,830	36,117	13,571	65,982	0,659464	298	14,033	P4 - 2.8*
06	96,830	35,774	13,652	65,920	0,663338	284	14,015	P4 - 2.8*
07	96,830	36,438	13,449	65,963	0,653518	300	14,193	P4 - 2.8*
08	96,830	36,639	13,037	65,995	0,633517	299	14,030	P4 - 2.8*
09	96,830	35,817	13,570	66,106	0,659333	275	14,010	P4 - 2.8*
10	96,830	35,780	13,535	65,976	0,657720	297	14,022	P4 - 2.8*
<b>Mínimo</b>	<b>96,830</b>	<b>35,774</b>	<b>13,037</b>	<b>65,920</b>	<b>0,633517</b>	<b>52</b>	<b>14,010</b>	-
<b>Máximo</b>	<b>96,830</b>	<b>37,698</b>	<b>13,690</b>	<b>66,156</b>	<b>0,665200</b>	<b>300</b>	<b>14,193</b>	-
<b>Média<sub>Sem Erros</sub></b>	<b>96,830</b>	-	<b>13,442</b>	<b>66,024</b>	<b>0,653135</b>	<b>233</b>	<b>14,039</b>	-
<b>Comentário:</b>	O teste de área de cobertura não apresenta erros nos resultados. Em relação ao teste A, não há alterações significativas nos resultados, indicando que a redução da área de cobertura obrigatória de 175° para 135° não acarreta impacto sobre a aplicação. Na coluna CPU - Clock (GHz), os "" indicam que foi usada a versão 3.0 do Scilab nas simulações e não a versão 3.1.1.							

Otimização de Arranjos de Antenas com Algoritmos Genéticos - O3AG							Versão:	3.1
Teste:	C - Área de Cobertura			Arquivo:	o3ag_v3.1.sci		Data:	15/12/05
Tipo de Antenas:	Dipolo	Nº de Elem.:	6	Espaçam.:	0,86*λ	Teta <sub>0</sub> (°) =	93,000	
Teta <sub>1</sub> min (°) =	93,000	Teta <sub>2</sub> max (°) =	175,000	RSSL (dB) >=	-	RMI <sub>min</sub> (dB) >=   RMM (Adm) =	66,000	
Tam. Pop. =	100	Recomb. =	35,00%	Mutação =	10,00%	Fator de Dilatação = 1,00		
Simulação Nº	Teta (°)	Beta (°)	RSSL (dB)	RM <sub>min</sub>   RMM (dB   Adm)	Aptidão (Adm)	Converg. (Gerações)	Tempo (minutos)	CPU - Clock (GHz)
01	92,819	14,275	18,529	66,099	0,897048	273	14,071	P4 - 2.8*
02	92,819	14,328	18,536	66,059	0,897399	296	14,137	P4 - 2.8*
03	92,819	14,220	18,881	65,804	0,913825	295	14,153	P4 - 2.8*
04	92,819	14,642	18,327	65,729	0,886697	300	14,078	P4 - 2.8*
05	92,819	15,971	17,486	65,956	0,846612	285	14,128	P4 - 2.8*
06	92,819	14,880	18,292	66,014	0,885635	292	14,115	P4 - 2.8*
07	92,819	15,903	18,005	65,573	0,870148	297	14,107	P4 - 2.8*
08	92,819	14,164	18,815	66,073	0,910935	299	14,115	P4 - 2.8*
09	92,819	14,829	18,040	65,979	0,873432	134	14,271	P4 - 2.8*
10	92,819	14,675	18,313	65,852	0,886438	282	14,108	P4 - 2.8*
<b>Mínimo</b>	<b>92,819</b>	<b>14,164</b>	<b>17,486</b>	<b>65,573</b>	<b>0,846612</b>	<b>134</b>	<b>14,071</b>	-
<b>Máximo</b>	<b>92,819</b>	<b>15,971</b>	<b>18,881</b>	<b>66,099</b>	<b>0,913825</b>	<b>300</b>	<b>14,271</b>	-
<b>Média<sub>Sem Erros</sub></b>	<b>92,819</b>	-	<b>18,322</b>	<b>65,914</b>	<b>0,886817</b>	<b>275</b>	<b>14,128</b>	-
<b>Comentário:</b>	O teste de área de cobertura não apresenta erros nos resultados. Em relação ao teste A, houve um aumento significativo no valor do RSSL, de 13,535 para 18,322 dB, em média. Isto pode ser explicado pelo fato do ângulo de inclinação ( <i>tilt</i> ) do lóbulo principal ser menor em 4° que no teste A, havendo menor deformação do diagrama e, conseqüentemente, proporcionando maior diretividade e RSSL. Na coluna CPU - Clock (GHz), os "*" indicam que foi usada a versão 3.0 do Scilab nas simulações e não a versão 3.1.1.							

Otimização de Arranjos de Antenas com Algoritmos Genéticos - O3AG							Versão:	3.1
Teste:	D - Área de Cobertura			Arquivo:	o3ag_v3.1.sci		Data:	15/12/05
Tipo de Antenas:	Dipolo	Nº de Elem.:	6	Espaçam.:	0,86*λ	Teta <sub>0</sub> (°) =	105,000	
Teta <sub>1</sub> min (°) =	105,000	Teta <sub>2</sub> max (°) =	175,000	RSSL (dB) >=	-	RMI <sub>min</sub> (dB) >=   RMM (Adm) =	66,000	
Tam. Pop. =	100	Recomb. =	35,00%	Mutação =	10,00%	Fator de Dilatação = 1,00		
Simulação Nº	Teta (°)	Beta (°)	RSSL (dB)	RM <sub>min</sub>   RMM (dB   Adm)	Aptidão (Adm)	Converg. (Gerações)	Tempo (minutos)	CPU - Clock (GHz)
01	104,851	78,765	6,501	65,996	0,318033	253	14,018	P4 - 2.8*
02	104,851	79,025	6,482	66,066	0,317073	285	14,092	P4 - 2.8*
03	104,851	78,715	6,493	65,905	0,317616	282	14,002	P4 - 2.8*
04	104,851	78,913	6,513	66,073	0,318562	192	14,011	P4 - 2.8*
05	104,851	78,811	6,442	65,980	0,315127	299	14,035	P4 - 2.8*
06	104,851	79,247	6,510	65,990	0,318452	295	13,986	P4 - 2.8*
07	104,851	78,677	6,513	65,947	0,318591	290	13,993	P4 - 2.8*
08	104,851	78,693	6,494	66,000	0,317691	293	14,124	P4 - 2.8*
09	104,851	78,730	6,540	66,135	0,319867	300	-	P4 - 2.8*
10	104,851	78,656	6,542	66,120	0,319991	290	-	P4 - 2.8*
<b>Mínimo</b>	<b>104,851</b>	<b>78,656</b>	<b>6,442</b>	<b>65,905</b>	<b>0,315127</b>	<b>192</b>	<b>13,986</b>	-
<b>Máximo</b>	<b>104,851</b>	<b>79,247</b>	<b>6,542</b>	<b>66,135</b>	<b>0,319991</b>	<b>300</b>	<b>14,124</b>	-
<b>Média<sub>Sem Erros</sub></b>	<b>104,851</b>	-	<b>6,503</b>	<b>66,021</b>	<b>0,318100</b>	<b>278</b>	<b>14,033</b>	-
<b>Comentário:</b>	O teste de área de cobertura não apresenta erros nos resultados. Houve uma significativa redução no valor do RSSL, em relação ao teste A, de 13,535 para 6,503 dB, em média. Este fato tem explicação oposta aquela do teste C, ou seja, o ângulo de inclinação ( <i>tilt</i> ) do lóbulo principal é maior que no teste A em 8°, provocando maior deformação do diagrama de radiação para posicionar o referido lóbulo, o que reduz a diretividade e diminui o RSSL. Na coluna CPU - Clock (GHz), os "*" indicam que foi usada a versão 3.0 do Scilab nas simulações e não a versão 3.1.1.							

Otimização de Arranjos de Antenas com Algoritmos Genéticos - O3AG							Versão:	3.1
Teste:	E - Área de Cobertura			Arquivo:	o3ag_v3.1.sci		Data:	15/12/05
Tipo de Antenas:	Dipolo	Nº de Elem.:	6	Espaçam.:	0,86*λ	Teta <sub>0</sub> (°) =	97,000	
Teta <sub>1</sub> min (°) =	97,000	Teta <sub>2</sub> max (°) =	175,000	RSSL (dB) >=	-	RMI <sub>min</sub> (dB) >=   RMM (Adm) =	46,000	
Tam. Pop. =	100	Recomb. =	35,00%	Mutação =	10,00%	Fator de Dilatação = 1,00		
Simulação Nº	Teta (°)	Beta (°)	RSSL (dB)	RM <sub>min</sub>   RMM (dB   Adm)	Aptidão (Adm)	Converg. (Gerações)	Tempo (minutos)	CPU - Clock (GHz)
01	96,830	35,791	13,075	46,207	0,635080	242	14,059	P4 - 2.8*
02	96,830	36,909	12,763	46,753	0,616682	172	13,826	P4 - 2.8*
03	96,830	37,687	12,745	46,673	0,616533	233	13,832	P4 - 2.8*
04	96,830	37,398	12,772	46,804	0,616662	109	13,833	P4 - 2.8*
05	96,830	37,410	12,775	46,807	0,616749	298	13,818	P4 - 2.8*
06	96,830	36,953	12,763	46,752	0,616713	140	13,841	P4 - 2.8*
07	96,830	37,924	12,756	46,717	0,616680	298	13,825	P4 - 2.8*
08	96,830	37,456	12,761	46,748	0,616630	296	13,826	P4 - 2.8*
09	96,830	38,268	12,736	46,633	0,616399	144	13,840	P4 - 2.8*
10	96,830	37,653	12,760	46,734	0,616708	175	13,826	P4 - 2.8*
<b>Mínimo</b>	<b>96,830</b>	<b>35,791</b>	<b>12,736</b>	<b>46,207</b>	<b>0,616399</b>	<b>109</b>	<b>13,818</b>	-
<b>Máximo</b>	<b>96,830</b>	<b>38,268</b>	<b>13,075</b>	<b>46,807</b>	<b>0,635080</b>	<b>298</b>	<b>14,059</b>	-
<b>Média<sub>Sem Erros</sub></b>	<b>96,830</b>	-	<b>12,790</b>	<b>46,683</b>	<b>0,618483</b>	<b>211</b>	<b>13,853</b>	-
<b>Comentário:</b>	O teste de área de cobertura não apresenta erros nos resultados. A redução do RMM para 46 implica em valores mínimos maiores, dificultando a obtenção de valores mais elevados de RSSL (reduziu com relação ao teste A para RMM igual a 66), como já era esperado, tendo em vista que são objetivos opostos. Na coluna CPU - Clock (GHz), os "*" indicam que foi usada a versão 3.0 do Scilab nas simulações e não a							

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)