

# Estratégias de Codificação e Aceleração para Algoritmo Genético aplicado na Síntese de Grades de Bragg em Fibra

M. J. Sousa, C. S. Sales. Junior e J. C. W. A. Costa

**Resumo**— Este trabalho apresenta duas técnicas de codificação real e uma técnica de aceleração para algoritmo genético (AG), elaboradas especificamente para o problema de síntese de grades de Bragg em fibra. As técnicas de codificação mostradas permitem filtrar o espaço de busca descartando soluções que possuam perfis de apodização caóticos ou desinteressantes. A técnica de aceleração mostrada explora o ganho computacional obtido com a redução da resolução do cálculo da função objetivo (FO). Neste artigo é mostrado como a aplicação de correções baseadas no uso de amostras móveis e do elitismo permitem contornar os problemas associados à perda de confiabilidade da FO.

**Palavras-chaves**— Grade de Bragg em fibra, algoritmo genético, aceleração, codificação real, amostras móveis.

## I. INTRODUÇÃO

A exigência cada vez mais ampla imposta sobre a qualidade e a capacidade das redes ópticas impõe elevados padrões sobre os projetos dos seus componentes. Os filtros ópticos, como as grades de Bragg em fibra (FBG - Fiber Bragg Gratings), são, compõe ou podem compor uma grande variedade destes componentes, como acopladores, multiplexadores e demultiplexadores, compensadores de dispersão e amplificadores ópticos [1]. Outras aplicações também podem constituir fonte de demanda para grades especializadas, como a criptografia óptica e as redes de sensores ópticos [2] [3]. Para estes exemplos, muitas vezes são necessários projetos de grades com características sofisticadas de refletividade, transmissividade ou dispersão, que não podem ser realizados através de técnicas analíticas convencionais auxiliadas por computador. Assim, naturalmente as meta-heurísticas, como o algoritmo genético (AG), tornam-se importantes alternativas [4] [5].

Dentre todas as meta-heurísticas, o AG é certamente um algoritmo bem estabelecido e documentado. Referências como [6] provam matematicamente sua eficácia. Entretanto existem muitas espécies deste algoritmo (cuja classificação ainda é tema de divergências), portanto pode ser difícil escolher apropriadamente uma delas. Além disso, o problema de síntese de grades pode ser consideravelmente complexo e computacionalmente ostensivo, mesmo empregando modelos de análise simples como os matriciais [7] [1]. É necessário desenvolver técnicas especializadas para permitir otimização e

síntese de grades de forma eficiente e desprovida de supervisão humana. Para este propósito, este artigo apresenta uma série de modificações sobre um AG baseado no modelo canônico de Schwefel [8].

As modificações podem ser divididas em duas classes. A primeira é relacionada à codificação do AG. Este artigo apresenta duas estratégias de codificação real capazes de filtrar o espaço de busca, reduzindo os esforços necessários para a localização de soluções interessantes, o que indiretamente pode reduzir o custo computacional do processo. A segunda classe de modificações afeta a fisiologia do AG. Seu objetivo é uma substancial e direta melhoria do desempenho computacional do processo. A principal característica dessas modificações é permitir ao AG manipular duas variantes da mesma função objetivo: uma computacionalmente ostensiva e ao mesmo tempo apurada (FOR - Função Objetivo Reduzida); outra pouco ostensiva e pouco apurada (FOE - Função Objetivo Extendida). O AG modificado utiliza normalmente a versão da função objetivo FOR enquanto utiliza com economia a FOE, obtendo, dessa forma, um ganho de processamento que pode chegar a 1000% em relação ao AG original.

Este artigo propõe a diferenciação entre as duas versões da função objetivo através da utilização de diferentes quantidades de amostras no processo de levantamento da curva de refletividade da FBG. A FOR costuma utilizar aproximadamente 10% da quantidade de amostras utilizada pela FOE, sendo estas percentagens fundamentais para a estimação do ganho computacional possível. Evidentemente a utilização de muito poucas amostras por parte da FOR pode acarretar uma série de efeitos indesejáveis sobre o AG. Este artigo propõe contornar estes problemas através do uso de *amostras móveis* por parte da FOR e do uso de um *procedimento de correção elitista* ao qual a FOE está subordinada.

## II. O ALGORITMO GENÉTICO

### A. Codificação suavizada

A formulação adotada para a análise de FBG foi a matricial frequentemente referenciada como método das seções uniformes (MSU) [7][1]. Considera-se que a operação fundamental deste método de análise seja o cálculo do coeficiente de reflexão  $r(\lambda, \mathbf{X})$  para um dado comprimento de onda  $\lambda$  e uma FBG representada por  $\mathbf{X}$ , onde:

$$\mathbf{X} = \{\mathbf{X}_1; \mathbf{X}_2\} = \{\nu_1, \nu_2, \dots, \nu_k, \dots, \nu_N; \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_k, \dots, \lambda_N\}. \quad (1)$$

Marco José de Sousa, Claudomiro Souza Sales Junior e João Crisóstomo Weyl Albuquerque Costa, Departamento de Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Federal do Pará, Belém, Pará, Brasil, E-mails: marcojs@ufpa.br, cssj@ufpa.br e jweyl@ufpa.br. Este trabalho foi parcialmente financiado pelo CNPq.

Os parâmetros  $\nu$  e  $\lambda$  representam, respectivamente, a amplitude e o comprimento de onda de Bragg para a perturbação do índice de refração no núcleo da fibra. Os subscritos indicam a ordem da seção, que podem assumir valores de 1 (primeira seção onde o sinal é injetado) ao número total de seções  $N$  (última seção). As espessuras das seções são homogêneas e iguais a  $L/N$  onde  $L$  é o comprimento total da grade. Como apenas duas classes de parâmetros para cada seção serão consideradas, o vetor  $\mathbf{X}$  pode ser convenientemente dividido em duas partes:  $\mathbf{X}_1$  e  $\mathbf{X}_2$ . A expressão para o índice de refração de uma seção  $k$  da grade  $\mathbf{X}$  em função de  $\nu_k$  e  $\lambda_k$  pode ser escrita como se segue [7]:

$$n(z) = n_{ef} + 10^{-12} \times \nu_k \times \cos\left(\frac{4\pi \times z \times n_{ef}}{\lambda_k}\right), \quad (2)$$

onde  $n_{ef}$  é o índice de refração efetivo e  $z$  é a distância relativa ao início da grade, que pode variar de 0 até  $L$ .

Empregando a codificação real, o vetor  $\mathbf{X}$  poderia ser extraído diretamente da população do AG sem a necessidade de quaisquer procedimentos de decodificação. Entretanto este artigo propõe uma codificação indireta no qual o vetor  $\mathbf{X}$  é obtido a partir de um autêntico cromossomo  $\mathbf{Y} = \{ \mathbf{Y}_1; \mathbf{Y}_2 \}$ . Cada parâmetro de  $\mathbf{X}_1$  e  $\mathbf{X}_2$  está diretamente relacionado aos respectivos genes (valores ponto-flutuante) de  $\mathbf{Y}_1$  e  $\mathbf{Y}_2$ , de modo que a codificação permanece real:

$$X_{jk} = X_{j \min} + (X_{j \max} - X_{j \min})Y_{jk}. \quad (3)$$

Onde o subscrito  $j$  indica a classe do parâmetro que, para este exemplo em particular, pode assumir apenas 1 ou 2. Como sugere as equações acima, os elementos de  $\mathbf{Y}_j$  são normalizados de modo que seus valores extremos, 0 e 1, correspondam respectivamente a  $X_{j \min}$  e  $X_{j \max}$ . Entretanto, este artigo propõe que estes valores extremos sejam definidos como função de  $k$ :

$$X_{jk} = X_{j \min}(k) + [X_{j \max}(k) - X_{j \min}(k)]Y_{jk}, \quad (4)$$

onde

$$X_{j \min}(k) = \begin{cases} x_{j \min}, & k = 1 \\ X_{j(k-1)} - p(x_{j \max} - x_{j \min}), & k \neq 1 \end{cases} \quad (5)$$

$$X_{j \max}(k) = \begin{cases} x_{j \max}, & k = 1 \\ X_{j(k-1)} + p(x_{j \max} - x_{j \min}), & k \neq 1 \end{cases} \quad (6)$$

Ou seja, os valores extremos utilizados para cada seção são dados em função dos mesmos valores correspondentes da seção anterior. Apenas quando  $k = 1$  utiliza-se um valor limite constante,  $x_{j \max}$  ou  $x_{j \min}$ . O parâmetro  $p$  deve ser um número entre 0 e 1, que indicará o quanto o limite superior ou inferior será maior ou menor do que o parâmetro correspondente da seção anterior. Portanto, (5) e (6) definem que, para uma determinada classe de parâmetros, os valores não podem variar abruptamente de uma seção para outra. Esse método de codificação impede que o AG crie apodizações arbitrarias e repletas de descontinuidades que prejudicariam o

comportamento espectral do filtro. É possível, entretanto, que o valor de  $X_{j \min}$  ou  $X_{j \max}$  em (5) e (6) possam resultar fora do intervalo  $[x_{j \min}; x_{j \max}]$ . Para corrigir esse problema é suficiente truncar  $X_{j \min}$  ou  $X_{j \max}$  para os valores extremos mais próximos, isto é,  $x_{j \min}$  ou  $x_{j \max}$ .

### B. Codificação com curvas limites

Os parâmetros  $x_{j \min}$  e  $x_{j \max}$  de (5) e (6) são tradicionalmente valores constantes. Entretanto, conhecendo o comportamento de certos formatos de apodização, pode ser interessante definir estes parâmetros como funções de  $z$  (ou  $k$ ). Isso permitiria ao AG procurar perfis de apodização intermediários às curvas  $x_{j \min}(k)$  e  $x_{j \max}(k)$  utilizadas como limites. Por exemplo, filtros com apodizações suaves onde a perturbação média do índice de refração  $\nu$  se anula nos extremos da grade, tal qual uma gaussiana ou um co-seno levantado, são preferíveis no lugar da apodização uniforme, que sabidamente apresenta lóbulos laterais maiores.

A codificação com curvas limites também pode ser utilizada para encontrar uma curva em particular dentre a família definida pelo espaço entre a curva limite extrema inferior e superior. Nesse caso apenas um gene pode ser utilizado para toda uma classe de parâmetros. Para tanto, (4) precisa ser reescrita como se segue:

$$X_{jk} = x_{j \min}(k) + [x_{j \max}(k) - x_{j \min}(k)]Y_{j1}, \quad (7)$$

onde  $Y_{j1}$  é o único gene de  $\mathbf{Y}$  para a classe de parâmetros  $j$ .

### C. O AG e o procedimento de correção elitista

O AG proposto é resultado da adaptação do modelo canônico se Schwefel [8]. As diferenças entre os algoritmos são: a inclusão de um parâmetro  $E$  para o controle do elitismo; inclusão de um procedimento para a melhoria do desempenho computacional. O AG proposto pode ser melhor compreendido através da Fig. 1 que mostra como os procedimentos de seleção, recombinação-mutação e avaliação relacionam-se ao longo de uma geração  $i$ , que processa a população  $\mathbf{P}_i$  criando a partir desta a população da geração seguinte  $\mathbf{P}_{i+1}$ . Primeiramente o procedimento de seleção por torneio, bloco S, é repetido  $M$  vezes a fim de gerar uma população intermediária  $\mathbf{P}_{i+1/2}$ . Em seguida a recombinação uniforme e a mutação gaussiana, o bloco R/Mut, são aplicadas tendo como progenitores dois indivíduos de  $\mathbf{P}_{i+1/2}$  e gerando um indivíduo descendente que é avaliado através da função objetivo FOR e incorporado à população intermediária  $\mathbf{P}_{i+1}$ . A aplicação de R/Mut e de FOR são repetidas  $Q$  vezes. Portanto, o tamanho da população  $\mathbf{P}_{i+1}$  é de pelo menos  $Q$ . Porém  $E$  melhores indivíduos de  $\mathbf{P}_i$  podem ser incorporados em  $\mathbf{P}_{i+1}$  (elitismo) e  $K$  elementos da população intermediária também podem ser incorporados, chegando a um tamanho de população  $\mathbf{P}_{i+1}$  de  $E + K + Q$ .

O critério para a transferência de  $K$  indivíduos de  $\mathbf{P}_{i+1/2}$  para  $\mathbf{P}_{i+1}$  é baseado no tempo de vida. Cada indivíduo, além do valor retornado pela função objetivo, tem associado a si mais um campo representando seu tempo restante de vida medido em números de gerações. Cada novo indivíduo tem

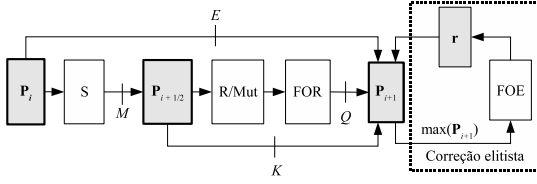


Fig. 1. Diagrama para o AG modificado.

esse campo iniciado com um valor  $\kappa$  que será decrementado a cada geração e então, quando o valor do campo atinge o valor mínimo zero, o indivíduo não poderá mais ser adicionado em  $\mathbf{P}_{i+1}$  a partir de  $\mathbf{P}_{i+1/2}$ . Quando todos os indivíduos selecionados possuem um tempo de vida restante maior que zero a população seguinte  $\mathbf{P}_{i+1}$  terá o tamanho máximo  $Q + M + E$ . O outro caso extremo ocorre quando todos os indivíduos de  $\mathbf{P}_{i+1/2}$  possuem um tempo de vida zero, fazendo com que o tamanho de  $\mathbf{P}_{i+1}$  seja de apenas  $Q + E$ .

Além das operações relativamente comuns a todos algoritmos genéticos, a Fig. 1 exibe um bloco extra que interaje apenas com a população  $\mathbf{P}_{i+1}$ . Este bloco representa o procedimento de correção elitista. Uma vez formada a população  $\mathbf{P}_{i+1}$ , o melhor indivíduo, filtrado através do operador  $\max(\cdot)$ , será submetido à FOE, que lhe atribuirá um outro valor objetivo certamente diferente do valor anterior conferido pela FOR. O novo valor objetivo é comparado ao do indivíduo de referência  $\mathbf{r}$ : caso seja melhor, o indivíduo extraído da população tomará o lugar de  $\mathbf{r}$ ; caso, ao invés disso, o melhor indivíduo de  $\mathbf{P}_{i+1}$  (de acordo com a FOR) for inferior ao indivíduo  $\mathbf{r}$ , o indivíduo de referência será reincorporado à  $\mathbf{P}_{i+1}$ .

Uma vez que a FOR não pode ser tão confiável quanto a FOE, o processo de seleção baseado na FOR pode resultar teoricamente em uma população  $\mathbf{P}_{i+1}$  inferior a  $\mathbf{P}_i$ . O processo de correção proposto permite combater a possibilidade de retrocesso. Uma extensão natural do raciocínio seria a utilização não de apenas 1 indivíduo de referência, mas vários. A utilização de uma população referencial poderia ser útil no processo de otimização multiobjetivo, no qual usualmente procura-se por um frente de soluções (frente de Pareto) [4].

#### D. Diferenciação entre FOR e FOE

Neste artigo, o ponto de partida adotado tanto para a FOR quanto para a FOE é o inverso do erro médio quadrático:

$$F(\mathbf{X}) = \left\{ \sum_{n=1}^{n_{max}} \frac{[|r(\lambda_n, \mathbf{X})|^2 - R(\lambda_n)]^2}{n_{max}} \right\}^{-1}. \quad (8)$$

Onde  $|r(\lambda_n, \mathbf{X})|^2$  define a refletividade para o comprimento de onda  $\lambda_n$  e para a grade representada por  $\mathbf{X}$ . O parâmetro  $n_{max}$  é o número de pontos (amostras) em que as duas curvas de refletividade, a calculada  $|r(\lambda_n, \mathbf{X})|^2$  e a desejada  $R(\lambda_n)$ , são comparadas. Presume-se que a maior parte do esforço computacional deverá concentrar-se no cálculo da refletividade, de modo que todo o restante do processamento associado aos procedimentos convencionais do AG possam ser negligenciados. Portanto, o tempo de processamento por geração deverá ser proporcional a  $n_{max}$ .

Ambas as funções objetivo, FOR e FOE, podem ser versões de (8) utilizando respectivamente  $n_{max} = n_R$  e  $n_{max} = n_E$ , onde  $n_R < n_E$ . O valor adequado para  $n_E$  é o mesmo utilizado em um AG normal desprovido de aceleração, enquanto  $n_R$  situa-se normalmente entre 1 e 10% de  $n_E$ . Isso permite com que a FOR seja entre 10 e 100 vezes mais rápida do que a FOE. Por outro lado, AG acelerado será mais rápido por um fator  $f$  inversamente proporcional a  $n_R$ , que pode ser estimado através da relação entre o número total de amostras processadas por geração para o AG normal e o número de amostras processadas por geração para o AG acelerado:

$$f = \frac{n_E \times Q}{n_E + n_R \times Q}. \quad (9)$$

Onde  $Q$  é o mesmo parâmetro da Fig. 1.

Entretanto, a simples redução do número de amostras para a diferenciação da FOR pode prejudicar o funcionamento do AG. Utilizando sempre as mesmas posições das amostras para a comparação entre as curvas de refletividade calculada e desejada através de (8), o AG deve evoluir realizando o ajuste da refletividade ao alvo somente nos pontos coincidentes às amostras. Devido a isso, o AG provavelmente apresentará uma solução falsa ao final do processo, pois a curva da grandeza ajustada pelo AG provavelmente divergirá da curva alvo quando ambas forem comparadas sob uma amostragem rigorosa.

Para evitar eventuais problemas relacionados ao excesso de espaçamento entre amostras, este trabalho propõe a utilização de *amostras móveis*, onde, a cada geração, as posições das amostras no espectro modificam-se aleatoriamente. Assim, para a FOR, utiliza-se  $n_R$  amostras uniformemente espaçadas de  $\Delta\lambda = (\lambda_{max} - \lambda_{min})/n_R$ , com a primeira amostra  $\lambda_1$  distante de  $\lambda_{min}$  de  $d$ , sendo  $d$  uma variável aleatória, com distribuição uniforme entre 0 e  $\Delta\lambda$ . A Fig. 2 ilustra como as amostras podem ser posicionadas em função do deslocamento aleatório  $d$  modificado a cada geração.

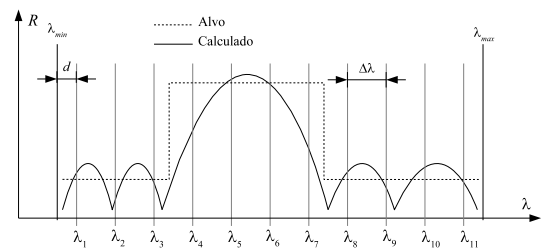


Fig. 2. Distribuição uniforme de amostras em função de uma distância  $d$  aleatória a partir de  $\lambda_{min}$ .

Particularmente essa forma de diferenciação entre a FOR e a FOE pode fazer com que os  $E + K$  indivíduos transferidos da população  $\mathbf{P}_i$  e  $\mathbf{P}_{i+1/2}$  precisem ser reavaliados pela FOR, uma vez que o valor  $d$  se modificará desatualizando-os. Neste caso, (9) precisa ser rescrita respeitando essa observação:

$$f = \frac{n_E \times Q}{n_E + n_R \times (Q + E + K)}. \quad (10)$$

### III. EXEMPLOS

O primeiro exemplo trata-se de um filtro Bragg para a máxima reflexão entre os comprimentos de onda  $1.5498\mu\text{m}$  e  $1.5502\mu\text{m}$ . O AG foi aplicado duas vezes para a obtenção do perfil de apodização para  $\nu_k$  mantendo-se constantes  $\lambda_k = 1.55\mu\text{m}$ , o comprimento da grade  $L = 1\text{cm}$  e o número de seções  $N = 50$ . A primeira aplicação empregou o AG com codificação real simples descrita por (3). A segunda aplicação utilizou a codificação proposta por suavização descrita por (4), (5) e (6), com  $p = 0.05$ . Ambas as aplicações utilizaram  $M = 50$ ,  $Q = 50$ ,  $E = 1$  e  $K = 0$  ( $\kappa = 0$ ). Dois resultados típicos obtidos para as duas aplicações após 5000 gerações são comparados na Fig. 3. Percebe-se que a suavização de fato melhorou o aspecto da curva de refletividade da grade.

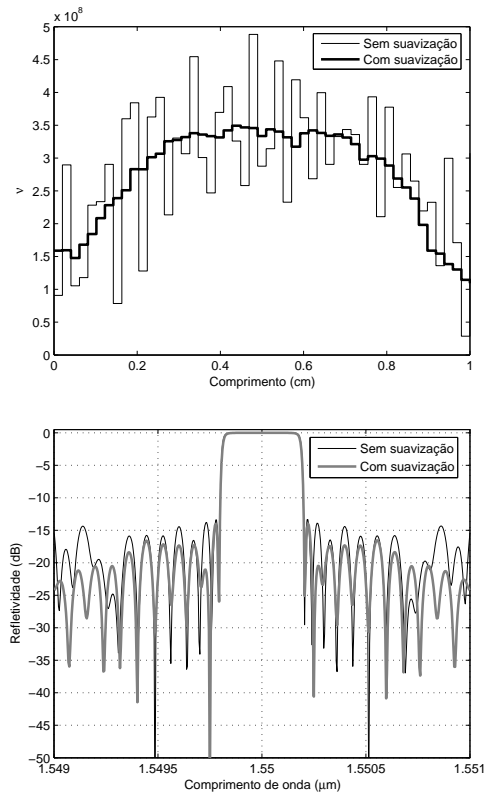


Fig. 3. Comparação entre curvas de perturbação de índice de refração e refletividade em função do comprimento para duas grades, uma obtida sem o uso da codificação suavizada e outra obtida com seu uso.

O segundo exemplo trata-se de um filtro rampa ascendente de  $1.5495\mu\text{m}$  a  $1.5505\mu\text{m}$ , com uma refletividade máxima de 50%. Filtros desta natureza podem ser úteis em redes de sensores ópticos, para a conversão de grandezas expressas por desvios na frequência para grandezas expressas por variações de potência óptica (algo mais simples de se detectar) [3]. A rampa é também um alvo mais complexo do que o utilizado no exemplo anterior, a ponto de exigir a otimização de ambos os parâmetros  $\nu_k$  e  $\lambda_k$  simultaneamente. A primeira aplicação do AG empregou curvas limites do modo mais simples, tal como descrito por (7), para a obtenção do perfil de  $\nu_k$ . Ambas as curvas mínima e máxima seguiram o formato co-seno levantado com valor nulo nos extremos e amplitudes de

$1 \times 10^8$  e  $8 \times 10^8$  respectivamente. Para  $\lambda_k$  utilizou-se apenas a suavização com  $p = 0.05$ . Os demais parâmetros relacionados à Fig. 1 foram conservados do primeiro exemplo. A Fig 4 exibe os perfis de  $\nu_k$ ,  $\lambda_k$  e a refletividade da grade obtidos após 5000 gerações.

A segunda aplicação do AG para o segundo exemplo utilizou curvas limites e suavização combinadas tanto para a determinação de  $\nu_k$  como para  $\lambda_k$ . As curvas limites para  $\nu_k$  também foram co-senos levantados, porém de amplitudes mínima e máxima de  $2 \times 10^7$  e  $2 \times 10^8$  respectivamente. Para  $\lambda_k$  as curvas limites foram duas retas descendentes de mesma inclinação. As suavizações empregadas utilizaram  $p = 0.05$  para ambos os parâmetros. As curvas limites, os perfis e a curva de refletividade obtidos após 5000 gerações são mostrados na Fig. 5. Como esperado, a refletividade aproximou-se mais do alvo para esta segunda aplicação do que para a primeira. Entretanto, deve-se observar que a primeira aplicação serviu de pré-projeto, com ajuda do qual puderam ser definidas curvas limites mais próximas dos valores supostamente ótimos.

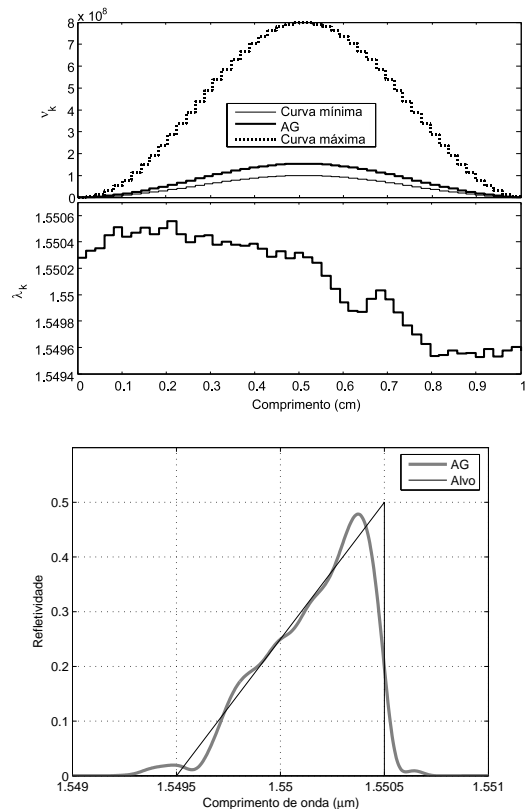


Fig. 4. Perfis para  $\nu_k$  e  $\lambda_k$  (acima); curva de refletividade e alvo (abaixo).

Para o último exemplo (segunda aplicação), a Fig. 6 explora o desempenho do AG normal, do AG utilizando amostras móveis com correção elitista e do AG utilizando apenas amostras móveis (sem correção); todos após 5000 gerações. Para cada valor de amostra ( $n_R$  ou  $n_{max}$ ), cada um dos três tipos de AG foi executado 20 vezes, o que resultou em vários conjuntos de valores objetivo dos quais foram calculadas três seqüências de médias e de desvios-padrão; que originaram as três curvas da Fig. 6. O procedimento de correção elitista para esta figura empregou  $n_E = 1000$ .

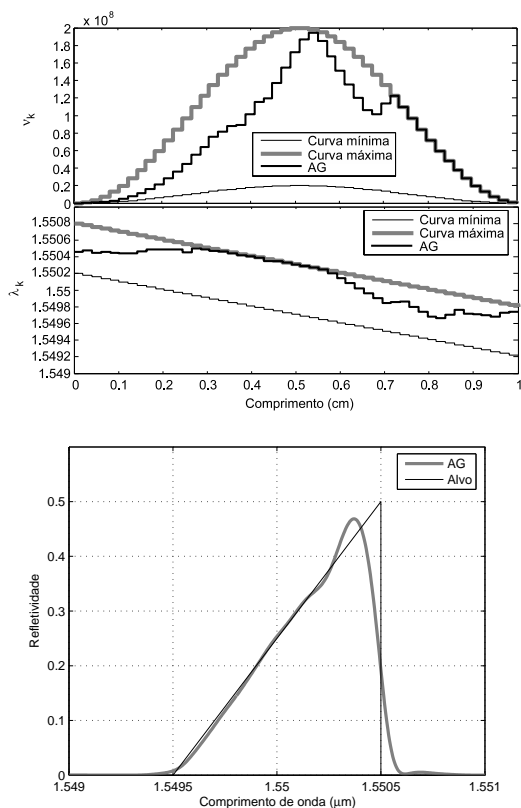


Fig. 5. Perfis para  $\nu_k$  e  $\lambda_k$  (acima); curva de refletividade e alvo (abaixo).

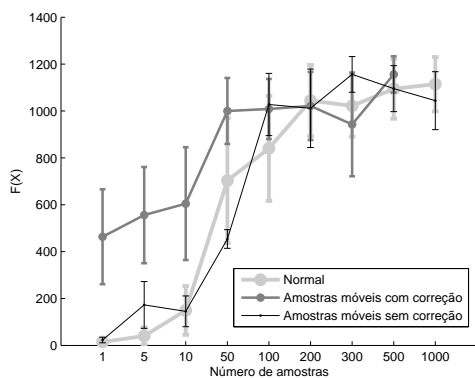


Fig. 6. Comparação entre curvas de  $F(X)$  em função do número de amostras para três tipos de AG: normal, utilizando amostras móveis com correção e utilizando amostras móveis sem correção.

É interessante observar que o uso de amostras móveis combinado com a correção elitista permitiu resultados consideráveis mesmo empregando  $n_R = 1$ . Com  $n_R = 50$ , o AG acelerado obteve resultados comparáveis aos do AG normal utilizando 200 ou 300 amostras; não muito inferiores dos resultados obtidos com 500 e 1000 amostras. Por outro lado, o uso de amostras móveis com a omissão do procedimento de correção elitista não superou o AG normal, o que prova a eficácia da correção elitista.

A Fig. 7 mostra o ganho  $f$  médio obtido e o ganho esperado para o AG utilizando amostras móveis juntamente com a correção elitista em comparação ao AG normal, ambos da

Fig. 6. Observa-se que quanto menor o número de amostras  $n_R$ , maior o erro entre a curva esperada e a obtida, chegando a quase 18% para o valor de abscissa igual a 1; quando o custo computacional dos procedimentos comuns AG (seleção, operadores genéticos, etc.) tornam-se consideráveis em relação ao custo computacional da função objetivo.

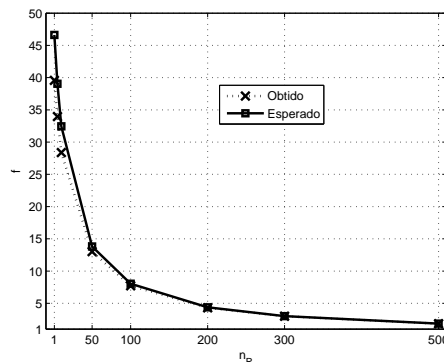


Fig. 7. Comparação entre curvas de  $f$  esperada (calculada através de (10)) e obtida em função do número de amostras.

#### IV. CONCLUSÕES

As técnicas de codificação propostas mostraram-se eficazes tanto em separado como combinadas. A solução para a suavização, entretanto, não é absoluta. Uma outra opção seria a utilização *splines*, que permitiria a determinação de poucos pontos para a descrição de um perfil de apodização suave. É possível, dessa forma, reduzir a quantidade de genes necessários para a construção da grade, o que também reduziria os graus de liberdade do problema (redução do espaço de buscas). Esta alternativa está sendo investigada pelo autor. A técnica de aceleração proposta também mostrou-se efetiva, sendo promissora sua aplicação a outras (frequentes) classes de problemas de otimização e síntese nos quais a FO realize processamentos de curvas.

#### REFERENCES

- [1] A. Othonos and K. Kalli, *Fiber Bragg Gratings: Fundamentals and Applications in Telecommunications and Sensing*, Ed. Artech House/Norwood, 1999.
- [2] H. Simos, A. Bogris, and D. Syvridis, *Investigation of a 2R All-Optical Regenerator Based on Four-Wave Mixing in a Semiconductor Optical Amplifier*, *Journal of Lightwave Technology*, vol. 22, n. 2, February 2004.
- [3] Domanski, A.W., *Application of optical fiber sensors in mechanical measurements*, Instrumentation and Measurement Technology Conference, vol. 1, pp 700-702, May 1997.
- [4] Hsu-Chih Cheng and Yu-Lung Lo, *The Synthesis of Multiple Parameters of Arbitrary FBGs Via a Genetic Algorithm and Two Thermally Modulated Intensity Spectra*, *Journal of Lightwave Technology*, Vol. 23, No. 6, June 2005.
- [5] S. Baskar, A. Alphones, P. N. Suganthan, N. Q. Ngo, and R. T. Zheng, *Design of Optimal Length Low-Dispersion FBG Filter Using Covariance Matrix Adapted Evolution*, *IEEE Photonics Technology Letters*, Vol. 17, No. 10, October 2005.
- [6] D. E. Goldberg, *Genetic algorithms in search, optimization and machine learning*, Addison - Wesley, MA, 1989.
- [7] T. Erdogan, *Fiber grating spectra*, *J. Lightwave Technol.*, vol. 15, pp. 1277-1294, 1997.
- [8] H.-P. Schwefel and G. Rudolph, *Contemporary evolution strategies*, *Advances in Artificial Life, Third ECAL Proceedings*, pages 893-907, Granada, Spain, June 4-6, 1995. Springer, Berlin.