

ALOCAÇÃO DE CANAIS EM REDES WLAN INFRAESTRUTURADAS UTILIZANDO ALGORITMOS GENÉTICOS

Thiago Alcântara Luiz

Departamento de Computação - Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP)
Campus Universitário Morro do Cruzeiro, CEP 354000-000, Ouro Preto – MG – Brasil
thiagolcantaraluiz@yahoo.com.br

Marlon Paolo Lima

Departamento de Ciências Exatas e Aplicadas – Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP)
Rua Trinta e Seis, nº 115, bairro Loanda, CEP 35931-008, João Monlevade – MG – Brasil
marlon@decea.ufop.br

Rafael Frederico Alexandre, Eduardo Gontijo Carrano

Departamento de Engenharia Elétrica – Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)
Avenida Antônio Carlos, nº 6627, CEP 31270-010, Belo Horizonte – MG – Brasil
rfalexandre@cpdee.ufmg.br, egcarrano@ufmg.br

Ricardo Hiroshi Caldeira Takahashi

Departamento de Matemática – Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)
Avenida Antônio Carlos, nº 6627, CEP 31270-010, Belo Horizonte – MG – Brasil
taka@mat.ufmg.br

RESUMO

Uma nova abordagem para o problema de alocação de canal na rede de área local sem fio (WLAN) é proposto neste trabalho. Esta abordagem baseia-se em um algoritmo genético e visa encontrar um mapeamento dos canais para os pontos de acesso (AP) que compõem uma rede WLAN do tipo ESS (Extended Service Set), gerando o mínimo de interferência na rede. Contudo, devido ao limitado número de canais não sobrepostos disponíveis, o problema torna-se difícil de ser resolvido. O algoritmo proposto foi comparado com um método bastante utilizado na literatura chamado DSATUR (Degree of Saturation), em diferentes configurações de rede.

PALAVRAS CHAVE. Redes WLANs, Otimização, Algoritmos Genéticos.

Área principal: PO em Telecomunicações e Sistemas de Informação (TEL&SI)

ABSTRACT

A new approach for channel allocation problem in wireless local area network (WLAN) is proposed in this paper. This approach is based on a genetic algorithm and it aims to find a suitable map of access point channels in WLAN ESS (Extended Service Set), in order to cause the minimal interference in network. However, due to the limited number of non-overlapping channels available, the problem becomes harder to be solved. The proposed algorithm was compared with a widely used method in the literature, known as DSATUR (Degree of Saturation) in different network settings.

KEYWORDS. Wireless Local Area Networks, Optimization, Genetic Algorithms.

Main area: OR in Telecommunications and Information Systems (TEL&IS)

1. Introdução

Atualmente, é perceptível o avanço da utilização das redes sem fio do padrão IEEE 802.11, dado sua facilidade de instalação e uso, baixo custo e altas taxas de transferência de dados. A combinação destes fatores tornou as redes locais sem fio (do inglês *Wireless Local Area Networks* ou WLAN) bastante atrativas para empresas, instituições ou mesmo para uso residencial. Uma WLAN do tipo ESS (*Extended Service Set*) é um conjunto de dois ou mais pontos de acesso (do inglês *access points* ou AP) interconectados em uma mesma rede local, que são vistas como uma única rede por uma estação cliente, com o intuito de aumentar o alcance e cobertura da rede.

As redes WLANs geralmente possuem características que as tornam complexas, como por exemplo, a elevada demanda de usuários, quantidade de pontos de acesso inseridos, proximidade entre redes sem fio distintas, intensidade de sinal recebida pelos usuários da rede, dentre outros. No entanto, não basta apenas definir o posicionamento adequado aos pontos de acesso e disponibilizá-los para o uso. A correta alocação dos canais (frequência) para os APs é extremamente importante para uma WLAN ESS, principalmente, se a rede for de grande porte. Se esta etapa do planejamento for desconsiderada, inevitavelmente, haverá um acentuado nível de interferência na rede, o que irá degradar seu desempenho (vazão da rede) (Mahonen et al., 2005), (Gondran et al., 2007).

Grande parte das redes WLANs não é projetada de maneira adequada, ou seja, seu planejamento não leva em conta a interferência gerada no cenário, sendo norteadas muitas vezes apenas pela cobertura oferecida pela WLAN. Atualmente, muitas aplicações requerem, além de alta largura de banda do AP, qualidade de serviço e transmissões com pouco atraso. Para agravar esta situação, ocorre em muitas LANs sem fio uma elevada concentração de clientes. Estas características geralmente levam a WLANs com muitos pontos de acesso, que podem estar próximos uns dos outros.

O uso de métodos exatos para a solução de problemas relacionados ao projeto e operação de redes sem fio pode não ser uma alternativa viável, tendo em vista o alto custo computacional quando aplicado a problemas de instâncias elevadas (Leung e Kim, 2003), (Mahonen et al., 2005), (Scully, 2009). Desta maneira, métodos baseados em meta-heurísticas podem ser utilizados para fornecer soluções eficientes para problemas dessa natureza, característica presentes em Algoritmos Genéticos (AG) e, que por sua vez, são utilizadas em problemas de redes sem fio (Lee, 2009), (Lima et al., 2012).

Este trabalho propõe a aplicação de um algoritmo genético mono-objetivo para a alocação de canais em redes WLAN. O critério de projeto adotado é a minimização da interferência gerada para todo o cenário. Espera-se que o algoritmo desenvolvido seja capaz de encontrar uma solução que favoreça uma plena utilização da rede por parte dos usuários, para diferentes cenários de projeto.

Este trabalho está organizado da seguinte forma: i) uma revisão bibliográfica do tema é apresentada na seção 2; ii) a caracterização do problema é discutida seção 3; iii) o modelo matemático será ilustrado na seção 4; iv) detalhes do algoritmo proposto na seção 5; v) por fim, os resultados obtidos por meio da aplicação do algoritmo desenvolvido são apresentados na seção 6.

2. Revisão Bibliográfica

Diversos trabalhos encontrados na literatura para o planejamento de redes IEEE 802.11, focam apenas na cobertura destas redes e não levam em consideração fatores que afetam diretamente a qualidade da rede como a atribuição de canais. Em contrapartida, os trabalhos que abordam o problema de alocação de frequências em redes locais desenvolvem soluções baseadas em algoritmos de coloração de grafos. Desta forma, pode-se citar o trabalho de (Mahonen et al. 2005) que implementa um algoritmo guloso denominado DSATUR (*Degree of Saturation*), que se apoia em técnicas de coloração de grafos. O algoritmo é proposto com o objetivo de encontrar uma atribuição de canais que minimize a quantidade de pontos de acesso adjacentes que utilizam canais semelhantes, reduzindo assim a interferência na rede.

Em (Lima et al., 2012) o problema de alocação de canais foi tratado por meio de uma heurística gulosa que consiste em uma variação ponderada do DSATUR original. O algoritmo desenvolvido pelos autores leva em consideração a demanda de tráfego dos APs e o nível de interferência gerada entre os pontos de acesso que operam no mesmo canal para propor um mapeamento de canais para a rede. O algoritmo desenvolvido em (Garcia et al., 2005) também é baseado no algoritmo de coloração de grafos DSATUR, adicionado um determinado custo e guiando o algoritmo para que o mesmo atribua os canais com base em um grau de saturação que é calculado a partir do custo.

Em (Hills, 2001), o autor propôs um método que verifica exaustivamente a sobreposição de co-canais para todas as atribuições de frequência possíveis. O autor também usa um mapa de cobertura wireless para que os APs tenham sobreposição mínima em sua cobertura por co-canais. Em outro trabalho do mesmo autor, (Hills et al., 2004) propuseram um algoritmo para atribuir frequências para APs. O algoritmo gera uma combinação de frequências ideal para APs contendo o mínimo de sobreposição entre co-canais. Porém, o tempo computacional necessário para atingir soluções é muito alto.

Os autores (Mishra et al., 2005) propõem novas formas de reutilização de canais entre os pontos de acesso e trata de canais parcialmente sobrepostos na atribuição de frequências através de uma variante do problema de coloração de grafos. Para isso, os autores atribuem pesos que representam o índice de usuários presentes na área de interferência do canal na qual ele está sendo atendido. Porém, fica claro que esta abordagem assume um prejuízo a rede dado que esta sobreposição parcial gera interferência.

A utilização de canais interferentes entre si nos *access points* é algo difícil de executar com êxito. Os autores (Leung e Kim, 2003) comprovam que a alocação de canais nas redes 802.11 é um problema NP-completo e propõem uma heurística que busca soluções para utilizar canais adjacentes nos APs da WLAN, levando em conta a carga de tráfego de cada AP. Grande parte dos trabalhos encontrados na literatura e que tratam da alocação de canais utilizando algoritmos genéticos são voltados para as redes de celulares, como pode ser visto nas referências (Ngo e Li 1998), (Chakraborty, 1999) e (Chia et al., 2011).

3. Caracterização do Problema

As redes sem fio locais compartilham de um mesmo meio de transmissão (*broadcast*) e muitas vezes há duas ou mais estações operando em uma mesma frequência e em um mesmo instante. Como consequência, a eficiência e desempenho da rede pode ser afetada pela ocorrência de colisões durante o envio de dados das estações que compartilham do mesmo meio (Leung e Kim, 2003), (Garcia et al., 2005), (Mahonen et al., 2005).

Nas redes sem fio de grande porte, normalmente é impossível determinar um mapeamento de canais na qual nenhum cliente sofrerá perdas causadas por interferências. Este fato se explica pela severa restrição de canais existentes, tornando necessária a adoção de mecanismos que minimizem esta interferência e, conseqüentemente, reduzam os danos aos usuários. As redes WLANs mais utilizadas (IEEE 802.11g e n) possuem apenas três canais que não apresentam sobreposição espectral, ou seja, que não são interferentes entre si (Mahonen et al., 2005), (Gondran et al., 2007), (Vanhatupa et al., 2007). Isto se deve ao fato dessas redes operarem em uma faixa de frequência não licenciada, ou frequências ISM (*Industry, Scientific and Medical Band*) que, apesar de serem isentas de custos, possuem restrições de largura de banda e canais disponíveis. Esta escassez de canais limita o número de redes que podem coexistir sem a geração de interferência mútua. Já a sobreposição espectral ocorre quando dois ou mais pontos de acesso operantes no mesmo canal cobrem uma área comum.

Os problemas causados pela interferência gerada podem alcançar desde uma leve perda de velocidade, atraso, retransmissões, baixo *throughput*, até problemas mais críticos como perda total da capacidade de utilização da rede por parte dos usuários, tornando-a inutilizada. Sendo assim, é indispensável um bom planejamento para as redes locais sem fio de porte elevado. Além disso, soluções de mapeamento de canais adequadas são imprescindíveis para obter máxima performance da rede (Mateus et al., 2001), (Vanhatupa et al., 2007).

4. Formulação Matemática

Conforme descrito nas seções 1 e 3, o objetivo do algoritmo desenvolvido é minimizar a interferência co-canal sofrida pelos clientes da rede. Assim, a formulação matemática proposta visa obter a melhor configuração de frequências atribuídas aos pontos de acesso. A resposta fornecida pelo algoritmo desenvolvido é o mapeamento de canais dos APs presentes na rede, lembrando que apenas três canais não interferentes entre si estão disponíveis para uso. Os parâmetros usados neste modelo são definidos a seguir:

- C: conjunto de clientes
- P: conjunto de pontos de acesso
- K: mapeamento de canais
- $p(c_i)$: ponto de acesso que atende o cliente i
- $k(p_j)$: canal atribuído ao ponto de acesso j
- r_{AP} : raio de alcance do ponto de acesso (metros).
- $I(c_i, p_j)$: nível de interferência sofrida pelo cliente i causada pelo ponto de acesso j .

A seguir, as equações (1) a (5) definem o modelo para o problema em estudo.

$$K^* = \arg \min_K \sum_{j=1}^P \sum_{i=1}^C t_{ij}(p_j, c_i) \cdot I(p_j, c_i) \cdot r_i(p_j, c_i) \quad (1)$$

Sujeito a:

$$k_j \in \{1,6,11\} \quad \forall j \in P \quad (2)$$

Onde:

$$t_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{se } \text{dist}(p_j, c_i) \leq r_{AP} \text{ e } k(p_j) = k(p(c_i)) \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad \forall i \in C, \forall j \in P \quad (3)$$

$$I = L(d_0) + 10 \cdot n \cdot \log_{10} \left(\frac{\text{dist}(p_j, c_i)}{d_0} \right) + X_\delta \quad \forall i \in C, \forall j \in P \quad (4)$$

$$r_i = \begin{cases} 1, & \text{se } p(c_i) \neq p_j \\ 0, & \text{caso} \end{cases} \quad \forall i \in C, \forall j \in P \quad (5)$$

$$\text{dist}(p_j, c_i) = \sqrt{(x(p_j) - x(c_i))^2 + (y(p_j) - y(c_i))^2} \quad \forall i \in C, \forall j \in P \quad (6)$$

A equação (1) representa a função objetivo do problema. Nesta, é mensurada a somatória da interferência experimentada por cada cliente da rede. Assim, se um cliente está posicionado em uma região coberta por dois ou mais APs que operam no mesmo canal, é possível mensurar o nível de interferência na qual ele está submetido e, conseqüentemente, determinar o nível de interferência total do ambiente. A restrição (2) se refere ao limite de canais não sobrepostos. O termo t_{ij} , presente em (3), indica a ocorrência de interferência em um cliente gerada por um determinado ponto de acesso operando no mesmo canal que o cliente. Esta interferência é mensurada através da intensidade de sinal recebida pelo cliente por meio do modelo de perda de percurso *Log-distance*, representada pela expressão (4), onde $L(d_0)$ é a perda de propagação de referência a um metro de distância em dB. Em redes 802.11 com frequência de 2,4GHz, o mesmo equivale a $L(d_0) = 40,2$ dB. O valor de n refere-se ao expoente da perda de percurso, responsável por determinar o comportamento da perda para um ambiente particular, e X_δ uma variável que representa a margem de desvanecimento. A expressão (5) se faz necessária para garantir que o *access point* que atende um cliente não gere interferência no mesmo, devido a ambos operarem no mesmo canal. A distância euclidiana entre o ponto de acesso j e o cliente i (em metros) é apresentada na expressão (6).

5. Algoritmo Proposto

Para minimizar a interferência gerada em um determinado cenário de WLAN, foi desenvolvido um Algoritmo Genético (Holland, 1975) mono-objetivo baseado em codificação inteira. Um pseudocódigo deste algoritmo é apresentado na sequência.

Pseudocódigo do Algoritmo Genético implementado

```

Input:  $C$ : Conjunto de clientes presentes no cenário
AP: Conjuntos de APs
 $g$ : número de gerações
 $tpop$ : tamanho da população
Output:  $x$ : melhor solução encontrada
Begin
1    $t \leftarrow 0$ 
2    $Pop \leftarrow \text{makePop}(AP)$ 
3   While  $t \leq g$  do
4        $evaluate(Pop)$ 
5        $Mate \leftarrow \text{binaryTournament}(Pop)$ 
6        $tMut \leftarrow \text{adaptationDynamicMut}(Pop)$ 
7        $tCross \leftarrow \text{adaptationDynamicCross}(Pop)$ 
8        $offspings \leftarrow \text{crossover}(Mate, tCross)$ 
9        $offspings \leftarrow \text{mutation}(offspings, tMut)$ 
10       $Pop \leftarrow \text{refresh}(offspings)$ 
11       $t \leftarrow t + 1$ 
12  End While
13  Return  $x$ 
14  End

```

Neste algoritmo, cada indivíduo representa o mapeamento de canais operados pelos APs em uma WLAN infraestruturada. Assim, o número de genes do indivíduo corresponde à mesma quantidade de pontos de acesso presentes no cenário.

5.1. População inicial

Com o intuito de manter maior variabilidade, os indivíduos que irão compor a população inicial são gerados aleatoriamente. Os canais disponíveis (1, 6 e 11) são alocados a cada ponto de acesso, não sendo portanto possível assumir valores diferentes desses três. Por se tratar de uma alocação de canais aleatória, não existem garantias da qualidade das soluções que irão compor uma população inicial. Possivelmente, muitas soluções representarão indivíduos com alto nível de interferência e com grande quantidade de clientes sofrendo algum tipo de prejuízo na rede. Em um primeiro momento, o DSATUR foi utilizado para gerar uma das soluções da população inicial, mas o AG evoluiu de forma inesperada (com poucas melhorias) e por este motivo, esta tentativa foi descartada.

5.2. Operadores de cruzamento e mutação

Inspirado no AG proposto em (Soares, 1997) e (Vasconcelos et al., 1997), as probabilidades de cruzamento e mutação variam de acordo com a diversidade da população. A diversidade pode ser obtida através da divisão entre o *fitness* (nível de interferência) da pior solução encontrada e a média dos *fitness* das soluções que compõe a mesma população. Quando a diversidade da população for considerada aceitável pelo AG, as taxas de cruzamento e mutação serão 80% e 8%, respectivamente. Se a diversidade da população for considerada alta, a taxa de mutação e cruzamento será de 90% e 3%, respectivamente. Em último caso, se a população estiver pouco diversificada, ambas as taxas serão de 40%. A este processo, dá-se o nome de adaptação dinâmica, na qual é atribuída uma probabilidade baixa ao AG quando a população se encontrar muito diversificada ou alta probabilidade, caso contrário. Os intervalos que determinam a diversidade da população em um dado momento da execução do algoritmo foram determinados após a realização de alguns testes. As probabilidades dos operadores de

cruzamento e mutação foram determinadas do mesmo modo e optou-se por utilizar as taxas citadas acima pois apresentaram comportamento satisfatório.

No algoritmo desenvolvido, optou-se pelo cruzamento uniforme. Neste operador, um vetor binário aleatório de mesmo tamanho do indivíduo é gerado. Este vetor define as posições onde serão realizadas trocas. Detalhes desta implementação podem ser obtidos em (Alcântara, 2012). Já o operador de mutação aplicado foi a mutação de flip, onde cada gene do indivíduo será alterado caso um número aleatório gerado para aquele bit seja menor que a probabilidade de mutação por bit. Essa probabilidade que varia aleatoriamente entre 1 a 4% e não tem relação com a adaptação dinâmica descrita anteriormente.

5.3. Mecanismo de seleção

O mecanismo de seleção utilizado foi o torneio binário, onde dois indivíduos serão selecionados e comparados pelo nível de interferência que causam aos clientes. A solução que corresponder a uma alocação de canais que gere o menor nível de interferência permanecerá na próxima geração, enquanto o outro não irá imediatamente, mas permanecerá com chances de ser novamente escolhido a participar da seleção.

Porém, é importante notar que a codificação adotada é redundante, tendo em vista que um mesmo indivíduo pode ser mapeado de diferentes formas. Para evitar que indivíduos idênticos sejam utilizados em um mesmo cruzamento, foi aplicado um mecanismo equivalente a um *checksum*. Caso dois indivíduos apresentem o mesmo *checksum*, eles são impossibilitados de cruzar, e um novo indivíduo é selecionado da população para o cruzamento. Esta estratégia evita avaliações desnecessárias de função objetivo e permite ao algoritmo convergir mais rápido.

6. Planejamento Experimental e Resultados Computacionais

Nesta seção são descritos os métodos estatísticos escolhidos para a realização do experimento, bem como apresentados resultados e análises estatísticas obtidos pelo AG mono-objetivo proposto em duas condições plausíveis de projeto.

6.1. Cenários e parâmetros

O algoritmo genético desenvolvido neste trabalho foi alimentado com os resultados fornecidos por (Lima et al., 2012). Com isso, para cada cenário, a localização dos clientes, pontos de acesso e atribuições AP-cliente são conhecidas. O experimento realizado neste artigo utiliza quatro diferentes configurações de WLAN, em dois cenários de teste distintos, propostos pelos autores supracitados. Estes cenários contam com características que os aproximam da realidade de uma WLAN infraestruturada, ambos simulando a necessidade de atender uma rede WLAN plana com uma demanda de 400 clientes em um ambiente de 160.000 m².

No primeiro cenário de teste, todos os 400 pontos de demanda foram distribuídos de forma aleatória, seguindo distribuição de probabilidade uniforme. No cenário 2, buscou-se reproduzir locais onde ocorrem aglomerações de usuários como, por exemplo, centros de convenções, shopping centers e aeroportos. Assim, foram criados três clusters de 100 usuários cada, com pontos centrais distintos, utilizando uma distribuição gaussiana. Além disso, foram distribuídos outros 100 clientes de forma aleatória, seguindo distribuição uniforme. Detalhes do ambiente de rede podem ser visualizados na Tabela 1:

Tabela 1. Dados do problema

<i>Parâmetro</i>	<i>Valores</i>
Dimensão do ambiente	400m x 400m
Fator de Cobertura	99%
Raio de alcance do AP	85 metros
Número de clientes <i>wireless</i>	400

Para os testes contidos no presente trabalho, foram escolhidas duas opções de projeto distintas para cada cenário. No primeiro cenário, estão presentes 19 e 21 pontos de acesso, enquanto no segundo cenário, 18 e 21 APs. Esta escolha se justifica, pois o problema de alocação de canais geralmente torna-se menos complexo quando há uma menor quantidade de

pontos de acesso empregados no ambiente. Entretanto, os APs irão atender uma maior quantidade de usuários o que implica em piora no balanceamento da rede. Já um ambiente com maior quantidade de *access points*, o balanceamento da rede é favorecido ao passo que a alocação de canais torna-se ainda mais problemática. O AG proposto foi implementado em Java, e ajustado com os parâmetros da Tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros de execução do Algoritmo Genético

<i>Parâmetro</i>	<i>Valores</i>
Tamanho do Cromossomo	19 e 21 genes para o cenário 1 18 e 21 genes para o cenário 2
Número de Gerações	100 gerações
Tamanho da População	50 indivíduos
Probabilidade de Cruzamento	80%
Probabilidade de Mutação (por indivíduo)	8%
Probabilidade de Mutação (por gene)	1 - 4%

6.2. Planejamento pré-experimental

A avaliação do desempenho entre os métodos apresentados foi realizada por meio de testes que visam identificar a existência de diferença estatística significativa no desempenho dos algoritmos apresentados e qual a sua magnitude. Deste modo, o design experimental dos testes pode ser resumido da seguinte forma: Variável de resposta: nível de interferência na WLAN; Fatores: algoritmos testados; Aleatorização não foi aplicada; Bloqueio por configuração de rede; Trinta e três (33) replicações para cada teste. Além disso, a melhor e pior execução, média e variância das soluções foram registrados. Estes resultados foram comparados com o DSATUR, referência da literatura, com o intuito de estimar a eficiência do algoritmo.

6.2.1 DSATUR

O algoritmo DSATUR, proposto por (Bréaz, 1979), estabelece a ordem em que os nós (AP) devem ser coloridos e as cores (canais) são atribuídas. Em cada iteração do algoritmo, o nó com maior grau de saturação (maior número de vizinhos) é selecionado para ser colorido. Se mais de um nó tem o mesmo grau de saturação, aquele com maior número de vizinhos coloridos é selecionado (Lima et al. 2012).

6.3. Resultados

A melhor solução encontrada nas 33 execuções do AG e a solução proposta pelo DSATUR para cada uma das duas configurações dos cenários 1 e 2 é apresentada nas figuras 1 e 3. Nessas figuras, as cores (azul, vermelho e verde) correspondem aos canais 1, 6 e 11 respectivamente. Assim como o nível de interferência, a percentagem de clientes que sofrem algum prejuízo na rede foi alvo de comparação entre as soluções encontradas pelos algoritmos. Apesar dos algoritmos implementados não serem guiados pela percentagem de clientes que sofrem algum prejuízo, causado pela interferência na qual estão submetidos, esta medida auxilia em um melhor entendimento da solução proposta e pode ser utilizada para efeito de comparação.

O AG propôs soluções bastante eficientes se comparadas com a solução proposta pelo DSATUR em ambas configurações de projeto para o primeiro cenário. Conforme pode ser visto na Tabela 3, com 19 APs, em sua melhor execução, o AG realizou uma alocação de canais que gera um nível de interferência equivalente a $9,68 \times 10^{-5}$ e atinge 0,75% dos usuários, enquanto que o algoritmo baseado em coloração de grafos mais que dobrou estas taxas. Dentre todos os experimentos, apenas este cenário e esta configuração o AG propôs, em média, soluções menos eficiente. Com 21 APs na rede, o AG superou o DSATUR em grandes proporções, apresentado solução que gera $8,54 \times 10^{-4}$ de nível de interferência e com 5% dos clientes da rede sofrendo algum tipo de interferência. Já o DSATUR elevou em um terço o nível de interferência e dobrou o número de clientes em regiões com interferência. Neste caso, a solução encontrada pelo DSATUR gerou nível de interferência maior que a pior solução encontrada pelo AG.

A Figura 1 ilustra a melhor solução encontrada pelo AG e a solução proposta pelo DSATUR com as configurações de projeto para o primeiro cenário. Em ambas configurações, o DSATUR alocou as frequências ocasionando maior proximidade entre os APs que reutilizam os canais e consequentemente envolvendo mais usuários em regiões sobrepostas. Fica claro que o AG buscou afastar ao máximo os canais reutilizados para os pontos de acesso, ocasionando pequena interferência e envolvendo o mínimo de clientes do cenário em regiões críticas.

Tabela 3. Resultado das 33 execuções do AG e solução DSATUR

	<i>Cenário 1 – 19 APs</i>		<i>Cenário 1 – 21 APs</i>	
	Nível de Interferência	% clientes com interferência	Nível de Interferência	% clientes com interferência
Melhor solução	$9,68 \times 10^{-5}$	0,75%	$8,54 \times 10^{-4}$	5,00%
Pior Solução	$1,17 \times 10^{-3}$	6,25%	$2,02 \times 10^{-3}$	10,50%
Média	$5,27 \times 10^{-4}$	3,00%	$1,28 \times 10^{-3}$	7,25%
Variância	$6,68 \times 10^{-8}$		$1,04 \times 10^{-7}$	
DSATUR	$2,31 \times 10^{-4}$	1,75%	$3,11 \times 10^{-3}$	10,75%

Adicionalmente, percebe-se como o DSATUR é sensível a complexidade do cenário, enquanto para o AG, o impacto foi consideravelmente menor, à medida que a dificuldade de se atribuir os canais de forma ótima aumenta.

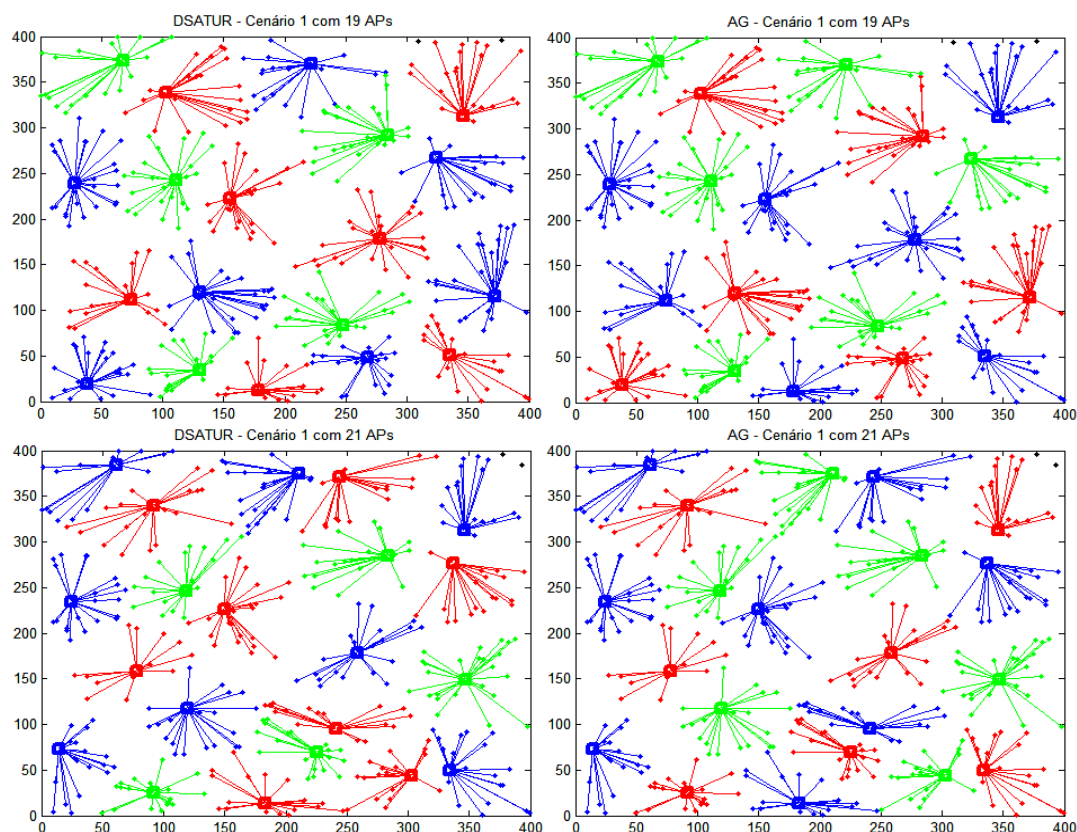


Figura 1. Melhor solução encontrada pelo AG e solução DSATUR

Analisando a Figura 2, percebe-se que para o primeiro cenário com 19 pontos de acesso, o AG foi capaz de encontrar, em sua melhor execução, solução mais eficiente que a proposta pelo DSATUR com 60 gerações. O AG apresentou maior convergência na primeira metade das gerações e com pouca variação na segunda metade. Na Tabela 3, é possível verificar que a maioria das soluções encontradas pelo algoritmo genético foram ligeiramente inferiores que a solução proposta pelo DSATUR. No entanto, para 21 APs, o AG foi capaz de encontrar, em todas as execuções, uma alocação de frequências mais eficiente que o algoritmo de coloração

de grafos, e isso com metade das gerações. Em sua melhor execução, dez gerações apenas foram suficientes para propor solução mais eficiente que a encontrada pelo DSATUR. Neste último experimento, o AG obteve maior convergência em suas primeiras 40 gerações, porém ocorreram, em algumas de suas execuções, melhorias em gerações finais.

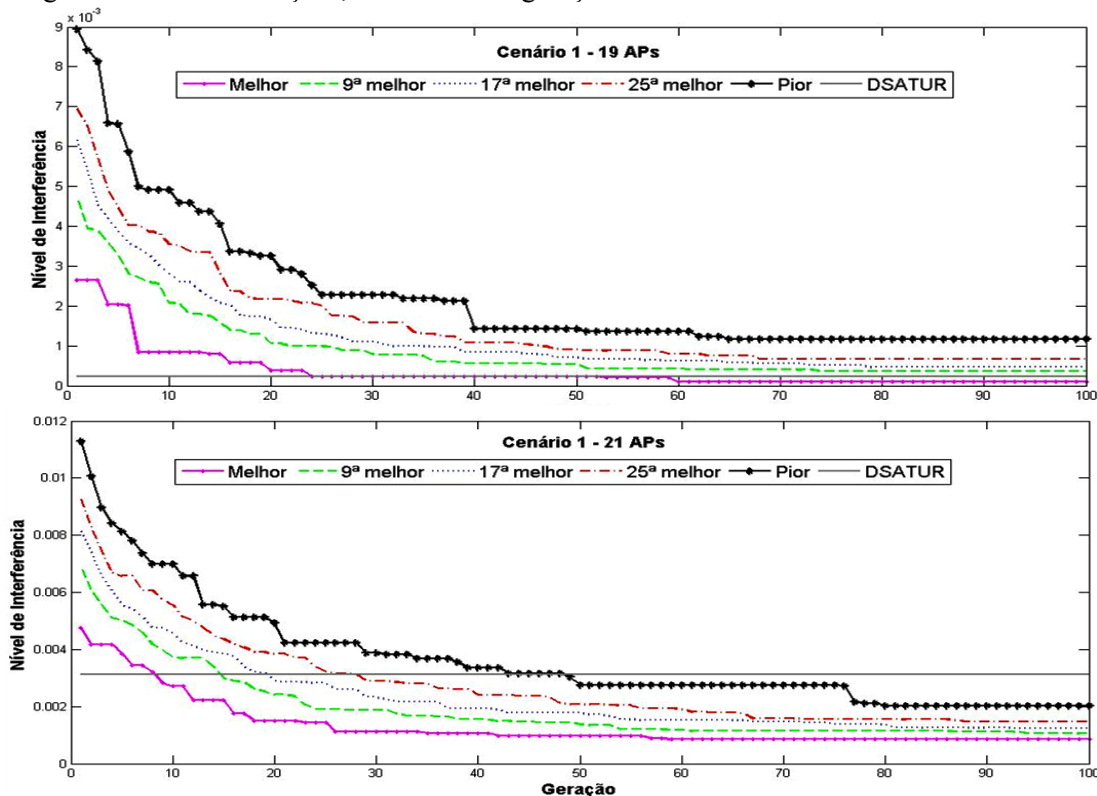


Figura 2. Comportamento do AG nos experimentos

Em todos os testes realizados em ambas as configurações para o segundo cenário, o AG alocou os canais gerando menor nível de interferência e prejudicando menos usuários que a solução encontrada pelo DSATUR. A qualidade das soluções encontradas pelo AG aumentou consideravelmente em relação ao encontrado pelo DSATUR neste ambiente, e a justificativa é o aumento brusco na complexidade do cenário (vide Tabela 4).

É possível notar na Tabela 4, Cenário 2 – 18 APs, que o menor nível de interferência encontrado pelo AG nos testes foi de $2,43 \times 10^{-3}$. Em contrapartida, o DSATUR alocou os canais gerando para o cenário, nível de interferência de $4,19 \times 10^{-3}$ e causando algum prejuízo a 19,50% dos usuários da rede (maior que a encontrada pelo AG que foi de 13,25%). Implantando 21 APs, o algoritmo genético gerou algum prejuízo a 38% dos usuários ao invés de 48,50% proposto pelo DSATUR. Níveis de interferência de $1,03 \times 10^{-2}$ e $2,32 \times 10^{-2}$ foram observados pelo AG e DSATUR respectivamente.

Tabela 4. Resultado das 33 execuções do AG e solução DSATUR

	Cenário 2 – 18 APs		Cenário 2 – 21 APs	
	Nível de Interferência	% clientes com interferência	Nível de Interferência	% clientes com interferência
Melhor solução	$2,43 \times 10^{-3}$	13,25%	$1,03 \times 10^{-2}$	38,00%
Pior Solução	$3,59 \times 10^{-3}$	16,75%	$1,23 \times 10^{-2}$	46,00%
Média	$2,74 \times 10^{-3}$	14,75%	$1,11 \times 10^{-2}$	41,00%
Variância	$9,37 \times 10^{-8}$		$4,38 \times 10^{-7}$	
DSATUR	$4,19 \times 10^{-3}$	19,50%	$2,32 \times 10^{-2}$	48,50%

Na Figura 3 (Cenário 2 – 18 AP) é possível observar que parte do cluster localizado na parte inferior esquerda da figura possui a mesma alocação de canais para os dois algoritmos. Basta perceber que houve uma substituição do canal 6 (vermelho) pelo canal 11 (verde) e vice-versa, e mantido o canal 1 (azul). Entretanto, para o mesmo cenário e configuração, houve uma melhor distribuição de canais entre APs pertencentes ao mesmo cluster. O algoritmo genético novamente buscou alocar o mesmo canal para os pontos de acesso que estivessem mais afastados e preferencialmente envolvesse um menor número de usuários. Isto contribuiu bastante para minimizar a interferência e a quantidade de clientes localizados nas regiões críticas.

Instalando 21 APs, além de ocorrer algumas semelhanças com o que foi dito anteriormente, é nítido a formação de triângulos entre pontos de acesso que reutilizam canais. Embora seja possível notar esta triangulação de canais na solução encontrada pelo DSATUR, o algoritmo genético busca criar o triângulo maior, com o objetivo de afastar os mesmos canais ao máximo e prejudicando menos usuários na rede (vide Figura 3).

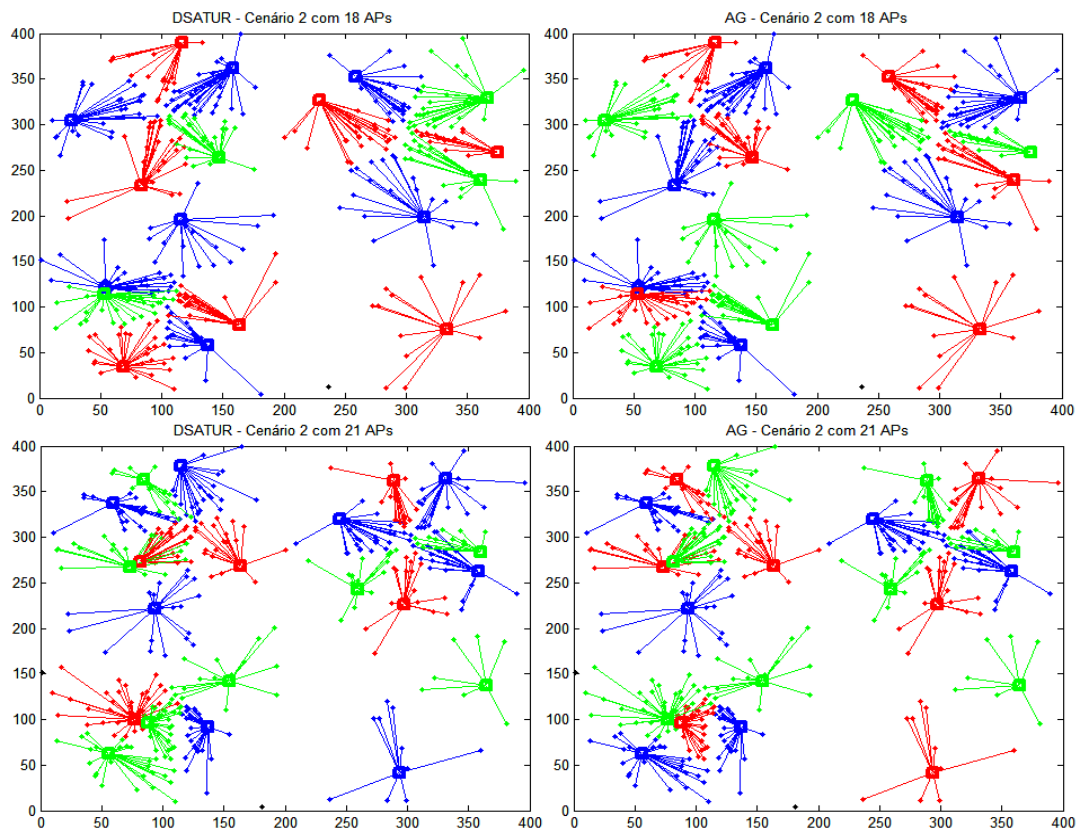


Figura 3. Melhor solução encontrada pelo AG e solução DSATUR

O comportamento do AG para o segundo cenário com 18 pontos de acesso apresentou alta convergência até a trigésima geração. Inclusive, quase 90% das execuções já haviam apresentado melhor solução que a encontrada pelo DSATUR até este momento do teste. Com 21 APs, 20 gerações foram suficientes para que todos os experimentos encontrassem soluções mais eficientes que o DSATUR (veja Figura 4).

Ao analisar os possíveis testes estatísticos a serem aplicados à parte final deste experimento, verificou-se a possibilidade de se aplicar um teste de sinais. Ou seja, poderia se comparar a média das execuções do AG com o DSATUR. Porém, como os testes com os dois algoritmos abrangem quatro possíveis configurações de rede, entende-se que a potência deste tipo de teste estatístico seria muito baixa. Com base nestas condições, optou-se por utilizar um método um pouco mais conservador e menos quantitativo. Então, os testes comparando os dois algoritmos levarão em conta uma análise problema a problema. Assim, para realização da análise dos dados, as premissas de independência, normalidade e homocedasticidade foram verificadas.

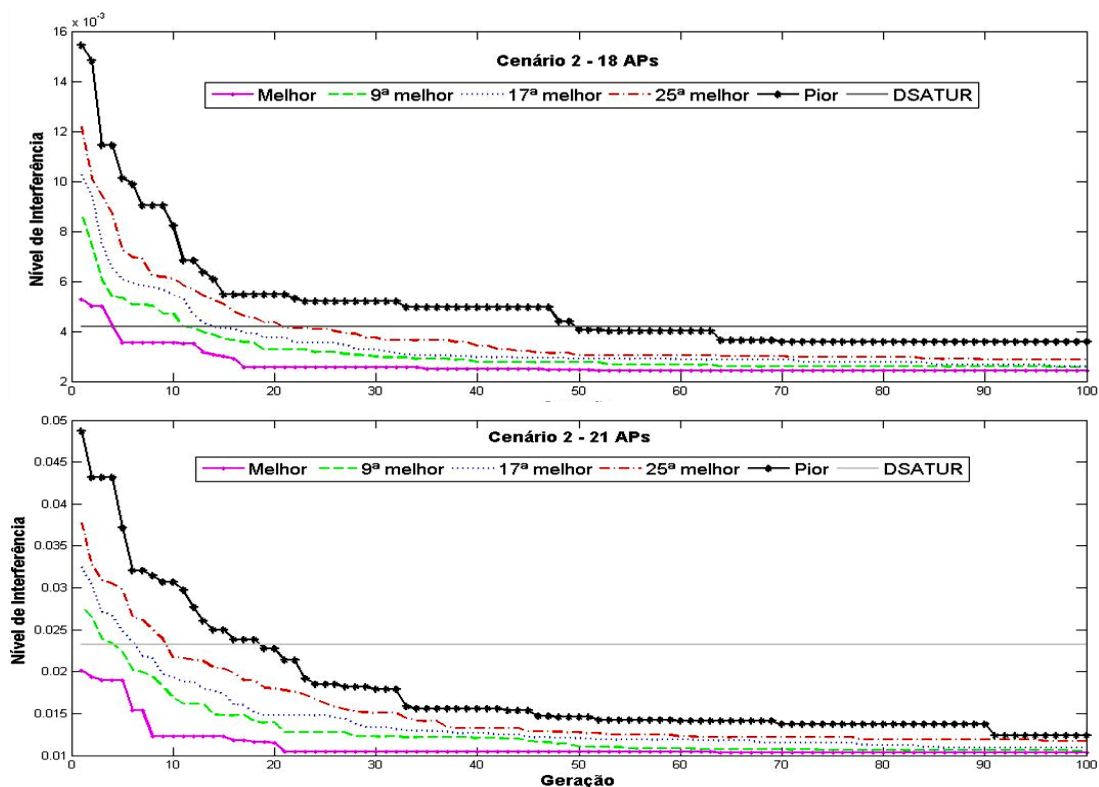


Figura 4. Comportamento do AG nos experimentos

Diante dos argumentos citados, tornou-se interessante a utilização do método não paramétrico de Wilcoxon para amostra única para as diferentes configurações de WLAN aqui apresentadas. A Tabela 5 exhibe os valores deste teste que compara o AG com o DSATUR.

Tabela 5. Resultado dos testes de Wilcoxon / amostra única

Parâmetros	Cen.1 – 19 AP	Cen.1 – 21 AP	Cen.2 – 18 AP	Cen.2 – 21 AP
P-value	0,9998	$8,99 e^{-19}$	$8,53 e^{-22}$	$2,81 e^{-37}$
Pior Solução	0,0104	0,0922	0,1320	0,3410

Observando a tabela acima, percebe-se que não se pode rejeitar a hipótese que o AG obteve melhores resultados que a heurística DSATUR para os três cenários mais complexos a um nível de confiança de 95%, o que pode ser comprovado nas figuras 1 a 4, que corroboram com esta hipótese.

7. Considerações finais

O planejamento de redes IEEE 802.11 é um assunto bastante atrativo para pesquisas, pois trata problemas reais relevantes e que afetam diretamente a qualidade dos serviços que são prestados aos usuários. Neste artigo, foi apresentado um esquema para alocação de canais em redes WLAN através do uso de algoritmos genéticos mono-objetivo. A maior vantagem da utilização de métodos estocásticos como os AG nesse tipo de problema é a redução do tempo computacional necessário para gerar soluções de qualidade em espaços de dimensões elevadas.

O algoritmo foi avaliado em dois cenários de projeto potencialmente problemáticos e as soluções propostas pelo algoritmo genético foram comparadas com uma heurística gulosa bastante utilizada na literatura para tratar o mesmo problema (DSATUR). Diante do exposto, o AG foi capaz de propor soluções com níveis de interferência menores que o DSATUR além de reduzir a quantidade de usuários que são, de alguma forma, prejudicados pelos níveis de interferência. Como trabalho futuro, pretende-se comparar o AG proposto com outras metaheurísticas, desenvolver um esquema de alocação de frequências que permita o emprego de canais interferentes entre si. Além disso, considerar a mobilidade dos usuários na rede.

Referências

- Alcântara, T. L.** (2012), *Alocação de Canais em Redes WLAN utilizando Algoritmo Genético*. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Ouro Preto.
- Balachandran, A., Voelker, G. M., Bahl, P., Rangan, P. V.** (2002), *Characterizing user behavior and network performance in a public wireless LAN*. Presented at SIGMETRICS'02.
- Brélaz, D.** (1979), *New methods to color the vertices of a graph*. Communications of the Assoc. of Comput. Machinery 22 (1979), 251-256.
- Chakraborty, G. e Chakraborty, B.** (1999), *A genetic algorithm approach to solve channel assignment problem in cellular radio network*. IEEE Midnight-Sun Workshop on Soft Computing Methods in Industrial Applications, Kusamo, Finland, 16–18 June. Araujodf: 40.
- Chia, Y. S., Siew, Z. W., Yang, S. S., Yew, Hoe T., Teo, Kenneth T. K.** (2011), *Evolutionary optimization for the channel assignment problem in wireless mobile network*. In: Proceedings of the 3rd (2011) CUTSE International Conference, 8-9 November, 2011, Miri, Sarawak, Malaysia.
- Garcia, E., Vidal, R., Paradells, J.** (2005), *New Algorithm for Frequency Assignments in IEEE 802.11 Wireless Networks*. In 11th European Wireless Conference, vol.1, pp. 211-217.
- Gondran, A., Baala, O. Caminada, A., Mabed, H.** (2007), *Joint optimization of access point placement and frequency assignment in WLAN*. ICI. 3rd IEEE/IFIP International Conference in Central Asia, pp. 1–5.
- Hills, A.** (2001), *Large-scale wireless LAN design*. IEEE Commun. Mag., 39(11): 98–104, November 2001.
- Hills, A., Schlegel, J.** (2004), *Rollabout: A wireless design tool*. IEEE Commun. Mag., 42:132–138, February 2004.
- Holland, J.H.** (1975), *Adaptation in natural and artificial systems*. Univ. of Michigan Press, AnnArbor.
- Lee, J. H., Han, B. J.; Lim, H. J., Kim, Y. D., Saxena, N., Chung, T. M.** (2009), *Optimizing Access Point Allocation Using Genetic Algorithmic Approach for Smart Home Environments*. Comput. J. 52(8): 938-949.
- Leung, K. And Kim, B. J.** (2003), *Frequency assignment for IEEE 802.11 wireless networks*. In IEEE Vehicular Technology Conference.
- Lima, M. P., Carrano, E. G., Takahashi, R. H. C.** (2012), *Multiobjective Planning Networks WLAN Using Genetic Algorithms*. WCCI IEEE Congress on Computational Intelligence.
- Mahonen, P., Riihijarvi, J., Petrova, M.** (2005), *Frequency allocation for WLANs using graph colouring techniques*. Proc. WONS'05, St. Moritz, Switzerland.
- Mateus, G. R., Loureiro, A. A., Rodrigues, R. C.** (2001), *Optimal network design for wireless local area network*. An. Oper. Res., 106(1-4):331–345.
- Mishra, A., Banerjee, S., And Arbaugh, W.** (2005), *Weighted coloring based channel assignment for WLANs*. In Mobile Computing and Communications Review.
- Ngo, C. Y., Li, V.O.K.** (1998), *Fixed channel assignment in cellular radio networks using a modified genetic algorithm*. IEEE Trans. Veh. Technol., Vol.47, No.1, 1998, 163-172.
- Riihijarvi, J. Petrova, M., Mahonen, P., and Barbosa, J. A.** (2006), *Performance Evaluation of Channel Assignment Mechanism for IEEE 802.11 Base on Graph Colouring*. In Proceedings The 17th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Communications, pp.1-5.
- Scully, T. And Brown, K. N.** (2009), *Wireless LAN load balancing with genetic algorithms*. In Proceedings of Knowl.-Based Syst. 2009, 529-534.
- Soares, G. L.** (1997), *Algoritmo Genéticos: Estudo, Novas Técnicas e Aplicações. Dissertação de Mestrado*. CPDEE – UFMG (1997)
- Vanhatupa, T., Hännikäinen, M., Hämäläinen, T. D.** (2007), *Evaluation of throughput estimation models for WLAN frequency planning*. Elsevier, vol.51, no. 11, pp. 3110-3124.
- Vasconcelos, João A., Saldanha, R. R., Kriehenbilhl, L. and Nimlas, A.** (1997), *Genetic algorithm coupled with a deterministic method for optimization in electromagnetics*. IEEE Trans. Magn., vol. 33, no. 2, pp.1860 -1863 1997.