



## **Seleção de canais parcialmente sobrepostos em redes IEEE 802.11 utilizando Algoritmos Genéticos**

**Éverton Vieira Rodrigues**

Departamento de Computação e Sistemas, Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP)  
Rua Trinta e Seis, nº 115, bairro Loanda, CEP 35931-008, João Monlevade, MG, Brasil  
evertonvieira@outlook.com

**Marlon Paolo Lima**

Departamento de Computação e Sistemas, 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**

Departamento de Computação e Sistemas, Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP)  
Rua Trinta e Seis, nº 115, bairro Loanda, CEP 35931-008, João Monlevade, MG, Brasil  
rfalexandre@decea.ufop.br

### **RESUMO**

Os canais de frequência em redes locais sem fio (WLAN) são recursos escassos nos padrões que operam em 2,4 GHz. O esquema de alocação de canais tradicional utiliza somente três canais sem sobreposição espectral, o que pode gerar problemas de interferência em ambientes com muitos dispositivos Wi-Fi. Este trabalho emprega um algoritmo genético para definir o mapeamento de canais de uma WLAN em um campus universitário, na qual é investigado a viabilidade do uso de canais parcialmente sobrepostos. Adicionalmente, a abordagem utilizada considera a interferência gerada por outras WLANs no mesmo ambiente, mas com administração independente. Os resultados mostram que o algoritmo proposto é capaz de reduzir significativamente os níveis de interferência no ambiente, quando comparado com o mapeamento de canais atualmente em operação na rede do campus.

**PALAVRAS CHAVE. Redes WLANs, Alocação de Canais, Otimização, Algoritmos Genéticos.**

**PO em Telecomunicações e Sistemas de Informação (TEL&SI)**

### **ABSTRACT**

Frequency channels on wireless local area networks (WLANs) are scarce in the standards operating at 2.4 GHz. This limitation can generate serious interference problems in overcrowded wireless networks, since there are only three non-overlapping channels available. This work employs a genetic algorithm to define the WLAN channel mapping in an university campus, in which it is investigated the feasibility of using overlapping channels. In addition, the used approach considers the interference generated by other WLANs in the same environment, but with independent management. Results show that the proposed algorithm is able to reduce the interference levels in the environment significantly when it is compared to the currently channel mapping in operation in the campus network.

**KEYWORDS. WLAN networks, Channel Allocation, Optimization, Genetic Algorithms.**

**OR in Telecommunications and Information Systems (TEL&IS)**



## 1. Introdução

A crescente utilização das redes sem fio do padrão IEEE 802.11 é consequência do baixo custo, das altas taxas de transferência, da facilidade de instalação e sua relativa mobilidade oferecida. Estas características a tornaram muito atrativas para empresas, instituições e residências. No entanto, apesar de sua fácil instalação, para que uma rede WLAN (do inglês, *Wireless Local Area Networks*), funcione de maneira adequada, alguns requisitos devem ser levados em consideração, como por exemplo, níveis de sinal, quantidade e posições dos pontos de acesso (do inglês *access point* ou AP), além dos canais utilizados para operação dos APs. Para ampliar a cobertura e o número de usuários atendidos em uma rede WLAN ESS (do inglês *Extended Service Set*) dois ou mais APs são interconectados em uma mesma rede local e vistos como uma única rede pelas estações clientes. No entanto, quanto maior o porte da rede, mais difícil é para se obter uma configuração de canais que seja satisfatória. Uma vez que as redes locais sem fio dispõem de poucos canais para operação, problemas de interferência podem ocorrer e isto afeta diretamente o desempenho da rede.

A atribuição de canais a APs em uma WLAN de grande porte não é uma tarefa trivial. Neste caso, a utilização de métodos exatos para a solução do problema não é a melhor escolha, considerando o alto custo computacional quando aplicado a problemas de instancia elevadas [Leung e Kim, 2003], [Riihijarvi et al., 2005], [Scully e Brown, 2009]. Deste modo, o uso de métodos baseados em meta-heurísticas se mostram mais eficientes para problemas dessa natureza. Os Algoritmos Genéticos (AG), por exemplo, possuem essas características e têm sido utilizados em problemas de alocação de canais em redes sem fio [Lee et al., 2009], [Lima et al., 2012], [Luiz et al., 2013], [Lima et al., 2014].

O propósito desse trabalho é a aplicação de um algoritmo genético mono-objetivo para a alocação de canais em redes WLANs que operam em 2,4 GHz. Assim, serão avaliadas duas situações distintas: a alocação tradicional utilizando 3 canais não sobrepostos e um conjunto de quatro canais com pequena sobreposição espectral. Os dados de entrada que alimentam o AG implementado foram obtidos por meio de um estudo de caso em um cenário real, que corresponde à rede WLAN da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), campus João Monlevade. Foram mapeadas, os obstáculos (paredes e demais barreiras), o ambiente multinível (andares) e as redes Wi-Fi independentes no ambiente que podem operar em quaisquer canais WLANs. 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 soluções que favoreçam a plena utilização da rede por parte dos usuários.

Este trabalho está organizado da seguinte forma: a seção 2 apresenta uma revisão bibliográfica do tema; a caracterização do problema é discutida seção 3; o modelo matemático é abordado na seção 4; na seção 5 o algoritmo proposto é detalhado; por fim, os resultados obtidos por meio da aplicação do algoritmo desenvolvido são apresentados na seção 6.

## 2. Revisão Bibliográfica

A grande maioria dos trabalhos encontrados na literatura para o planejamento de redes IEEE 802.11 foca principalmente na cobertura destas redes e não leva 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 cenários fictícios, de baixa complexidade. Desta forma, pode-se citar o trabalho de [Luiz et al., 2013], que utiliza um Algoritmo Genético em diferentes cenários fictícios para provar a superioridade do AG se comparado com o DSATUR, [Brélaz, 1979]. Os testes foram realizados utilizando três canais não sobrepostos; ambientes com barreiras e multiníveis não foram considerados, assim como a existência de redes WLANs vizinhas. O algoritmo é proposto com o objetivo de encontrar uma atribuição de canais em um cenário real e complexo, que minimize a quantidade de pontos de acesso adjacentes que utilizam canais semelhantes, reduzindo assim a interferência na rede.



Em [Riihijarvi et al., 2005], um algoritmo guloso baseado em técnicas de coloração de vértices foi proposto. Este algoritmo tinha como objetivo encontrar uma atribuição de canais que maximize a quantidade de pontos de acesso vizinhos que utilizam canais diferentes, reduzindo assim a interferência na rede WLAN. [Balbi et al., 2012] propuseram um algoritmo para alocação de canais centralizado, baseado no algoritmo DSATUR, [Brélaz, 1979]. O método desenvolvido ajusta as configurações do algoritmo automaticamente baseado nas condições da rede, considerando a interferência causada por WLANs de terceiros.

No trabalho [Lima et al., 2012], os autores propõem uma ferramenta de planejamento de redes locais sem fio (WLAN) baseada em um algoritmo genético multiobjetivo e heurísticas gulosas, dividida em duas etapas: projeto da estrutura da rede e alocação de canais. Na primeira fase, a quantidade, posicionamento e o balanceamento de carga dos pontos de acesso (AP) são abordados de acordo com critérios de cobertura desejada, demanda de tráfego e capacidade de largura de banda dos AP. Na segunda etapa, o canal de cada AP é atribuído com o intuito de reduzir a interferência entre os pontos de acesso e aumentar a vazão da rede. Em [Luiz et al., 2013], os autores utilizaram um Algoritmo Genético em diferentes cenários fictícios para provar a superioridade do AG se comparado com o DSATUR, [Brélaz, 1979]. Os testes foram realizados utilizando três canais não sobrepostos; ambientes com barreiras e multiníveis não foram considerados, assim como a existência de redes WLANs vizinhas.

No trabalho de [Mi e Wang, 2012], os autores propõem resolver o problema de escassez de frequência em redes WLANs, utilizando um esquema de atribuição de canais parcialmente sobrepostos para recursos de frequência adicionais. Um algoritmo estima o número de usuários na camada física, em seguida, os canais da rede WLAN são distribuídos, com a finalidade de maximizar a capacidade do sistema, usando a informação do número de usuários para cada canal. As interferências causadas pela sobreposição parcial dos canais avaliadas matematicamente e envolvidas na atribuição do canal. [Mishra et al., 2005] consideraram a possibilidade de utilizar canais parcialmente sobrepostos na atribuição de frequências. Os autores utilizaram um índice de sobreposição entre os canais disponíveis na faixa de frequência de 2.4 GHz, atribuindo pesos que representam a porcentagem de usuários presentes na área de interferência associada àquele canal. Em [Mengual et al., 2013], os autores detalham a implementação de uma solução de canal dinâmico que considera os canais parcialmente sobrepostos e mostram, através de medições em um cenário real de campus com cerca de 200 APs e em condições reais de tráfego, como essa abordagem melhora o desempenho dos três canais ortogonais tradicionais (1, 6 e 11).

Em [da Silva e de Rezende], os autores propuseram um processo inteligente de alocação de canais em redes dispostas numa mesma região. Uma alocação de canal, que leve em conta a presença de outras redes na mesma região, que pode gerar um aumento da disputa pelo acesso ao meio e da interferência co-canal, que por consequência reduz a capacidade da rede. Neste trabalho, é proposto um mecanismo para a seleção automática de canal. Atuando de forma independente e distribuída em cada ponto de acesso e utiliza medições realizadas por determinadas estações que são trocadas através do padrão IEEE 802.11k.

### 3. Caracterização do Problema

A grande maioria dos dispositivos de WLAN existentes (802.11n e 802.11g) operam nas bandas não licenciadas ISM (do inglês *Industrial Scientific and Medical*) de 2,4 GHz. Há muitos outros dispositivos que operam na mesma faixa de frequência, como dispositivos bluetooth, telefones celulares, babás eletrônicas e outros. Estes equipamentos são uma fonte significativa de interferência para as WLANs. Além disso, também é comum ter outros APs no mesmo ambiente (da mesma ou de diferentes redes), que operam na mesma banda. Estes APs também devem se afetar mutuamente, apesar do uso de técnicas de espalhamento de espectro (DSSS, OFDM e MIMO) e ajuste de potência de transmissão [Noraziah e AN, 2012].

Em uma rede wireless apenas uma única estação pode utilizar o meio em um dado momento no tempo quando operam na mesma frequência. Caso ocorram transmissões simultâneas,



uma colisão poderá ocorrer, causando assim, perda do desempenho [Leung e Kim, 2003], [Riihijarvi et al., 2005]. Uma das formas de amenizar os efeitos da interferência é por meio do protocolo CSMA/CA, que coordena as transmissões em redes 802.11. Entretanto, para buscar a máxima capacidade das WLANs e aumentar o throughput da rede, outra metodologia pode ser mais eficiente.

Quando dois ou mais APs situados próximos um dos outros operam em canais não sobrepostos diferentes, eles podem transmitir simultaneamente sem que haja interferência. Todavia, a quantidade de canais é bastante limitada (somente 11 ou 13 com algumas restrições, no caso do Brasil), quando utilizada a faixa de frequência de 2,4 GHz. Conforme dito anteriormente, existem duas possibilidades para a atribuição de canais: utilização de três canais não sobrepostos ou utilizar canais parcialmente sobrepostos. Este trabalho emprega as duas abordagens. Assim, em ambientes com grande quantidade de APs, a reutilização de canais se torna inevitável, sendo necessária a adoção de uma eficiente alocação de canais que minimizem esta interferência.

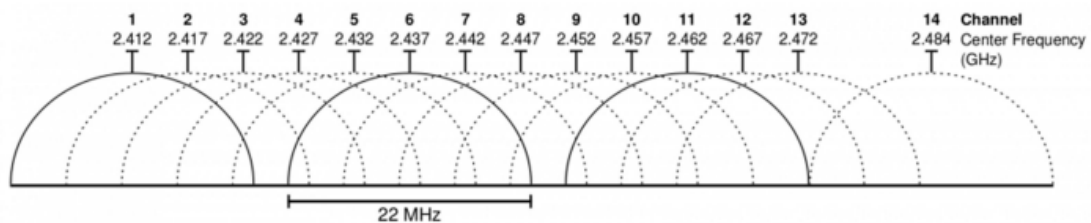


Figura 1: Canais IEEE 802.11 na banda ISM 2.4 GHz, [Chieochan et al., 2010]

Um conceito muito importante em qualquer comunicação sem fio é a relação sinal-ruído (SINR), que descreve a potência do sinal comparado com as interferências somadas ao ruído de fundo. Sendo assim, quanto maior for a SINR melhor é a potencia do sinal, permitindo maior o throughput, pelo seguintes motivos, com maior SINR, o rádio 802.11 permite enviar e receber pacotes utilizando uma modulação mais avançada/rápida, por outro lado, se esta relação estiver fraca, a possibilidade de pacotes corrompidos devido à interferências é alta, considerando que a maioria das aplicações executadas em redes TCP/IP exigem confiabilidade, retransmissões irão reduzir a vazão da rede. Além disso com uma SINR alta, o sinal pode chegar a distâncias maiores e ultrapassar mais barreiras, permitindo melhor cobertura do ambiente.

Por fim, como em muitos caso não é possível aumentar o sinal (caso do campus da UFOP), pois exige aquisição de novos equipamentos ou uma mudança física de local dos APs, o que pode ser muito trabalhosa, uma das melhores formas de melhorar a SINR, é reduzir a interferência no ambiente. Este é o foco do trabalho.

#### 4. Formulação Matemática

O problema tratado neste artigo consiste em encontrar o melhor mapeamento de canais para os APs da WLAN, considerando a restrição de canais disponíveis na banda de 2,4 GHz. O objetivo do algoritmo proposto é maximizar a relação sinal ruído (SINR) médio nos clientes. Os parâmetros usados neste modelo matemático são definidos nas equações (1) a (9):

$$\mathcal{K}^* = \arg \max_K SINR_{avg} \quad (1)$$

Sujeito a:

$$k_i \in \{1, 2, 3, \dots, 13\} \quad \forall i \in \{1, \dots, n\} \quad (2)$$

onde:



$$SINR_{avg} = \frac{\sum_{j=1}^C SINR_{i,j} \cdot c_{i,j}}{N_C} \quad (3)$$

$$SINR_{i,j} = \frac{RSS_{i,j}}{\sum_{j=1}^C RSS_{i,j} \cdot s_{i,j} \cdot r_{i,j} \cdot t_{i,j} + \text{Ruído}} \quad (4)$$

$$RSS_{i,j} = Pt + Gt + Gr - PL(d_{i,j}) - \beta \quad (5)$$

$$PL(d_{i,j}) = PL(d_0) + 10 \cdot n \cdot \log\left(\frac{d_{i,j}}{d_0}\right) + \sum PAF \quad (6)$$

$$s_{i,j} = \begin{cases} 1, & \text{se } RSS_{i,j} \geq RSS_{min}; \\ 0, & \text{caso contrário.} \end{cases} \quad (7)$$

$$r_{i,j} = \begin{cases} 1, & \text{se } i \neq j; \\ 0, & \text{caso contrário.} \end{cases} \quad (8)$$

$$t_{i,j} = \begin{cases} 1, & \text{se } k_i = k_j; \\ 0.77, & \text{se } |k_i - k_j| = 1; \\ 0.72, & \text{se } |k_i - k_j| = 2; \\ 0.6, & \text{se } |k_i - k_j| = 3; \\ 0.22, & \text{se } |k_i - k_j| = 4; \\ 0, & \text{se } |k_i - k_j| \geq 5; \end{cases} \quad (9)$$

nas equações acima:

- $\mathcal{K}^*$  é o conjunto de canais disponíveis. O vetor de decisão  $K_i^* \in \mathcal{K}^*$  define o mapeamento de canal para os APs da rede.
- $RSS_{i,j}$  é a intensidade de sinal recebida do AP ( $j$ ) no cliente ( $i$ ) (em dB).
- $RSS_{min}$  é o limiar mínimo de recepção de sinal do dispositivo 802.11.
- $d_{i,j}$  é a distância euclidiana entre o cliente ( $i$ ) e o AP ( $j$ ).
- $SINR_{avg}$  é a média da SINR dos clientes.
- $SINR_{i,j}$  é a  $RSS_{i,j}$  dividida pela soma da potência do sinal recebido de outros APs (todos os sinais interferentes), mais um ruído de fundo.
- $Pt$  é a potência de transmissão, em dBm.
- $Gt$  e  $Gr$  são os ganhos das antenas do transmissor e receptor, em dBi.
- $PL(d_{i,j})$  é a perda de percurso entre o transmissor e o receptor, em dB.
- $\beta$  representa outras perdas, em dB.
- $PL(d_0)$  é a perda de propagação (em dB) a uma distância de referência  $d_0$  do sinal transmitido.
- $PAF$  é o fator de atenuação, causado por obstáculos.



A restrição (2) refere-se ao limite de canais disponíveis em WLANs de 2,4 GHz. As variáveis binárias  $s_{i,j}$  e  $r_{i,j}$  (Eq. (7) e (8)) recebem 1, se a intensidade de sinal recebida do AP ( $j$ ) que não atende ao cliente ( $i$ ) é maior ao limiar mínimo de recepção. Já a variável  $t_{i,j}$ , Eq. (9), representa o fator de interferência entre o canais do AP ( $j$ ) que atende o cliente ( $i$ ) e do que gera a interferência. A Eq. (4), que define a relação sinal-ruído, possui a constante *Ruído* recebe o valor de -100 dBm que se refere a faixa de frequência utilizada pela rede WLAN (2,4 GHz) Rappaport [2002]. Já  $P_t$ ,  $G_t$  e  $G_r$  são definidas de acordo com o cenário a ser avaliado.

Neste trabalho,  $PL(d_0)$  foi configurado em 40,2 dB para  $d_0 = 1m$  e  $\beta$  em 2 dB. Estes valores foram definidos com base em dispositivos típicos de uma rede IEEE 802.11 de 2,4 GHz. A perda de sinal em WLANs indoor, considerando perdas causadas por obstáculos foram estimadas com base no modelo *log-normal shadowing* [Rappaport, 2002], tal como mostrado na Eq. (6). Este modelo representa bom compromisso entre precisão e custo computacional, e tem sido amplamente utilizado na literatura.

## 5. Algoritmo Proposto

Um Algoritmo Genético mono objetivo, baseado em codificação inteira, foi desenvolvido no intuito de solucionar o problema descrito na seção 4. Cada solução representa o mapeamento de canais atribuídos em todos os APs do cenário. Sendo assim, o quantidade de APs é também o número de genes de cada solução construída. O algoritmo proposto, definido pelo pseudocódigo 1, se baseia no trabalho de [Luiz et al., 2013]. Entretanto foram adicionadas importantes particularidades:

- Suporte a ambientes multiníveis;
- O modelo considera obstáculos em sua formulação;
- Mapeamento que possibilita o uso de quatro canais com sobreposição espectral, ao invés de somente três;
- Abordagem de alocação de canais lida com a existência de WLANS independentes no ambiente.

---

**Algoritmo 1:** Pseudocódigo do Algoritmo Genético implementado

---

```
Entrada: C:                /*Conjunto de clientes presentes no cenário*/
Entrada: AP:               /*Conjuntos de APs*/
Entrada: g:                /*Número de gerações*/
Entrada: tpop:            /*Tamanho da população*/
Entrada: pCross:          /*Probabilidade de cruzamento*/
Entrada: pMut:            /*Probabilidade de mutação*/
Entrada: RSS:             /*Matriz de níveis de sinais*/
Saída: Pop:               /*Melhor solução encontrada*/

1  t ← 0
2  Pop ← makePop(AP)
3  enquanto t ≤ g faça
4  |  evaluate(Pop, RSS, C, AP)
5  |  Mate ← binaryTournament(Pop)
6  |  of fsprings ← crossover(Mate, pCross)
7  |  of fsprings ← mutation(of fsprings, pMut)
8  |  Pop ← refresh(of fsprings)
9  |  sort(Pop)
10 |  t ← t + 1
11 retorna Pop
```

---

No pseudocódigo do Algoritmo 1, a população inicial é gerada de forma aleatória com o intuito de se ter uma maior diversidade (linha 2). Os genes desses indivíduos podem assumir entre



quatro valores, que são os canais (1, 5, 9 e 13) que cada AP da rede pode receber. A população inicial não oferece nenhuma garantia de qualidade, por se tratar de valores aleatórios. Só com o evoluir dos indivíduos essa qualidade é alcançada.

A função *evaluate* (linha 4) foi desenvolvida com o propósito de aceitar um conjunto de quatro canais diferente do proposto por Luiz et al. [2013]. Sendo assim, para cada solução da população, a função *evaluate* atribui a interferência causada pela combinação de canais dos APs da rede, ordenando os indivíduos (linha 9) de acordo com sua eficiência ao final da execução do algoritmo. A função responsável pelo cruzamento das soluções (linha 6) cria um vetor binário de mesmo tamanho dos indivíduos, que define as posições onde serão realizadas as trocas, tal que, cada uma de suas posições contém o valor 1, indicando que o gene sofrerá cruzamento ou 0, caso contrário. Além disso, cabe ressaltar que os valores desse vetor são gerados conforme a probabilidade de cruzamento definida como parâmetro. Já a mutação é feita por um operador do tipo *flip* (linha 7) em que cada gene do indivíduo será modificado, se um número aleatório gerado para aquele bit for menor que a probabilidade de mutação por bit.

O método de seleção utilizado é conhecido como torneio binário (linha 5) em que dois indivíduos serão selecionados e comparados pela relação sinal-ruído (SINR) que oferecem aos clientes, ou seja, pela sua *fitness*. A solução que corresponder a uma alocação de canais que gere a maior relação sinal-ruído permanecerá na próxima geração, enquanto a outra não irá imediatamente, mas permanecerá com chances de ser novamente escolhida para participar da seleção.

## 6. Resultados Computacionais

Nesta seção são apresentados resultados obtidos pelo algoritmo genético proposto, em duas condições de projeto: três canais não sobrepostos e quatro canais com pequenas sobreposições espectral. Também é realizada uma análise de repetibilidade da resposta obtida pelo algoritmo, com o intuito de estimar a sua robustez e o teste comparativo com a configuração de canais atual da rede WLAN de um campus universitário.

### 6.1. Cenário e Parâmetros

O algoritmo desenvolvido neste trabalho foi alimentado com dados reais, obtidos por meio de estudos realizados na rede Wi-Fi da Universidade Federal de Ouro Preto, campus João Monlevade. O campus conta com uma área total de  $28.800 m^2$ , sendo  $8.820 m^2$  de área construída composta por 5 prédios de 3 pisos cada e um prédio contendo 4 pisos. A área de maior circulação de usuários compreende  $13.800 m^2$ , com ambientes internos e externos. A rede WLAN do campus (denominada "Minha UFOP WiFi") foi inicialmente projetada com o intuito de atender principalmente ambientes internos, mas sendo possível sua utilização em ambientes externos próximo dos prédios. Uma imagem da campus, obtida por meio da ferramenta Google Earth, sobreposta com a planta baixa do 1º andar, juntamente com os APs da rede (retângulos vermelhos) e clientes (pontos azuis) podem ser visto na Figura 2.

A rede "Minha UFOP WiFi" foi implantada levando-se em consideração a necessidade de atender, mediante autenticação prévia, um total de aproximadamente 1.300 usuários, incluindo alunos e funcionários. As atividades acadêmicas se concentram em 2 turnos (tarde e noite). Para mapear o cenário em questão foi realizado um minucioso estudo sobre a base de dados do sistema que gerencia a rede WLAN do campus. Assim, uma análise estatística foi desenvolvida, considerando os *logs* com dados coletados de sessões dos usuários e dos pontos de acesso durante 4 meses de operação da rede. Com isto, foi possível obter informações sobre a utilização e desempenho da WLAN, no que diz respeito ao número total de usuários da rede por AP, canais de operação, horários de pico, consumo de dados e áreas de maior demanda no campus.

A rede do campus é composta por 37 pontos de acesso, sendo 29 APs da rede "Minha UFOP WiFi" e 8 APs da rede denominada "Administrativa", que visam atender exclusivamente professores e funcionários. Estes 8 pontos de acesso da rede Administrativa possuem gerenciamento independente e seus canais de operação são configurados manualmente. Ao contrário da



Figura 2: Planta baixa do ICEA/UFOP

rede Administrativa, o gerenciamento da "Minha UFOP WiFi" é centralizado, e seus canais podem ser configurados automaticamente. Deste modo, este trabalho não visa mapear canais para os 8 APs da rede administrativa, uma vez que esta WLAN se trata de uma rede independente. Entretanto, a interferência gerada por estes APs será considerada durante a execução do Algoritmo Genético.

Após análise dos dados, chegou-se à conclusão que em nenhum momento, mais de 600 usuários estavam conectados simultaneamente na "Minha UFOP WiFi", pois as atividades acadêmicas são divididas em 2 turnos. Então, este número de clientes WiFi foi superestimado, e definiu-se um cenário com a necessidade de atender uma rede WLAN com uma demanda de 750 usuários em ambientes abertos e fechados. Sobre as edificações do campus, foram utilizadas as plantas baixas de construção para obter, o número de barreiras juntamente com sua localização, e tipo de material, que permitiram estimar os níveis de atenuação de sinal por penetração, nos diferentes obstáculos. Mais detalhes do ambiente de rede pode ser visualizados na Tabela 1, os dados referentes aos equipamentos foram retirados de seus respectivos fabricantes.

Tabela 1: Dados do Cenário

Parâmetro	Valores
Área de cobertura total	13.800 m <sup>2</sup>
Fator cobertura desejado	99%
Ganho de antena dos AP	5 dBi
Ganho de antena dos clientes	2 dBi
Potencia de transmissão do AP	100 mW
Intensidade de sinal mínimo recebido	-84 dBm
Perda por penetração em obstáculos	3 a 13 dB
Máximo de clientes por AP	64
Capacidade do AP (BW)	150 Mbps
Frequência de operação	2,4 GHz
Canais de operação	1 a 13
Total de clientes wireless	750
Número de APs - Minha UFOP WiFi	29
Número de APs - rede Admin.	8





Para a realização dos testes o Algoritmo Genético proposto, implementado em linguagem Java, foi ajustado com os parâmetros da tabela 2. Os testes foram realizados em duas etapas, fazendo uso de um conjunto de três canais não sobrepostos e quatro canais com sobreposição.

Tabela 2: Parâmetros de execução do Algoritmo Genético

Parâmetro	Valores
Tamanho do cromossomo (com rede Admin.)	37 genes
Número de gerações	100 gerações
Tamanho da População	50 indivíduos
Probabilidade de Cruzamento	80 %
Probab. mutação (por gene e por indivíduo)	10%

## 6.2. Resultados

O algoritmo genético implementado foi executado 33 vezes, para cada uma das configurações de canais (3 e 4). A Figura 3 exibe um gráfico da convergência do AG, com os resultados do melhor indivíduo, geração a geração, da 17ª melhor execução. As linhas vermelha e azul representam os resultados da simulação com 3 e 4 canais, respectivamente. Por outro lado, a linha verde representa o mapeamento atualmente em uso no campus da UFOP. Claramente, é possível perceber que os resultados do algoritmo genético superam com muita folga, o esquema de alocação atualmente em uso. Com relação às abordagens de 3 e 4 canais, é notável a superioridade da abordagem com 4 canais, considerando um espaço de busca de 1 a 13 canais. Neste caso, a partir da execução 9, os resultados do mapeamento com 4 canais já superam os da execução final do mapeamento com canais não-sobrepostos.

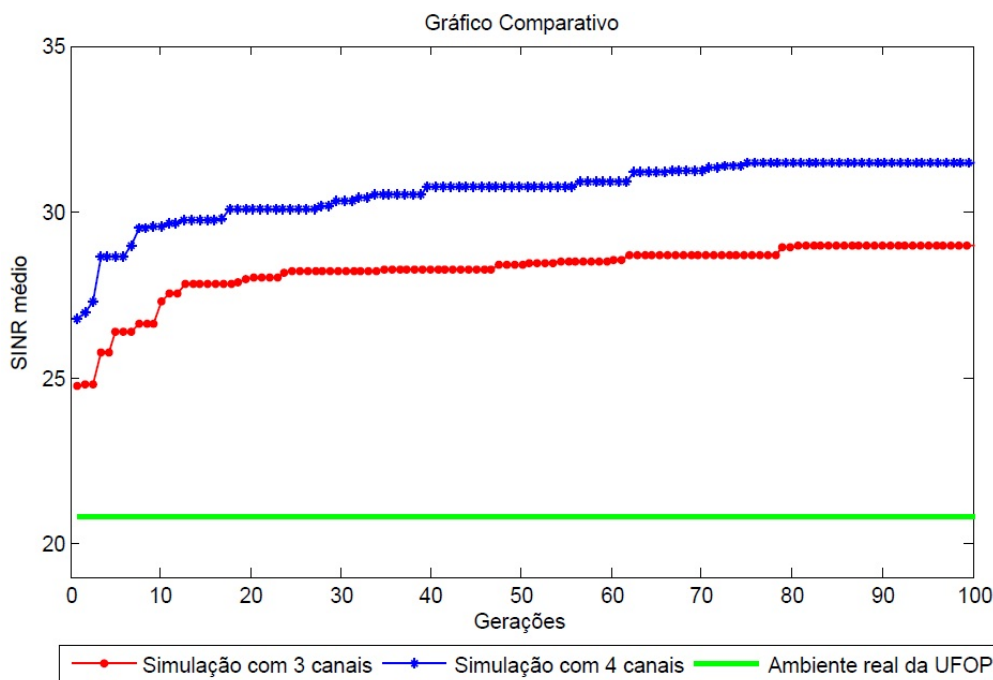


Figura 3: Gráfico de convergência do Algoritmo Genético

A tabela 3 exibe dados da melhor, pior e valores médio da relação sinal-ruído (função objetivo) e da percentagem de clientes sofrendo algum tipo de interferência na rede. Apesar deste último parâmetro não ser determinante para a convergência do algoritmo, ele nos fornece um melhor entendimento dos ganhos gerados pela solução proposta e pode ser utilizada para efeito de



comparação. Além da superioridade, em todos os casos, dos resultados obtidos pelo AG, destacam-se os resultados alcançados pela abordagem de 4 canais com sobreposição espectral. Na média, a SINR do mapeamento com canais sobrepostos foi 3 dB melhor que a abordagem de canais não sobrepostos (3 canais). Como estamos lidando com relação sinal-ruído e, uma vez que os níveis de sinal dos APs para os clientes não alteram, esta diferença de valores representa uma redução enorme nos níveis de interferência da rede. Isto quer dizer, de modo geral que, existe a metade da interferência com o mapeamento de 4 canais parcialmente sobrepostos, quando comparado ao de 3 canais. Na prática isto representa menos retransmissões, maior vazão de dados na rede e menos delay experimentado pelas aplicações IP em tempo real, como chamadas de voz via whatsapp e videoconferências.

Tabela 3: Resultado da execução do AG

	Três Canais		Quatro Canais	
	Relação Sinal/Ruído (dBm)	% clientes com Interferência	Relação Sinal/Ruído (dBm)	% clientes com Interferência
Melhor solução	28,97	31,18	31,47	20,87
Pior Solução	26,17	41,89	29,26	30,63
Média	27,51	36,04	30,14	26
Mapeamento atual	20,68	63,04	-	-

A figura 4 exibe a melhor solução encontrada para a configuração de quatro canais do campus da UFOP, para o piso 1. Neste caso, é possível visualizar concentrações de usuários, o que dificulta o planejamento da rede, além da demanda de clientes fora das edificações. Nesta figura, as cores (azul, vermelho, verde e magenta) representam os canais 1, 5, 9 e 13 respectivamente, a cor preta representa os APs independentes onde se desconhece a demanda dos mesmos. Veja que somente no primeiro piso, existem 10 pontos de acesso. Ao visualizar a distribuição de canais (cores) dos APs, é possível perceber que o algoritmo foi capaz de realizar uma correta alocação de canais, evitando ao máximo a repetição de canais, reduzindo assim as interferências no ambiente.

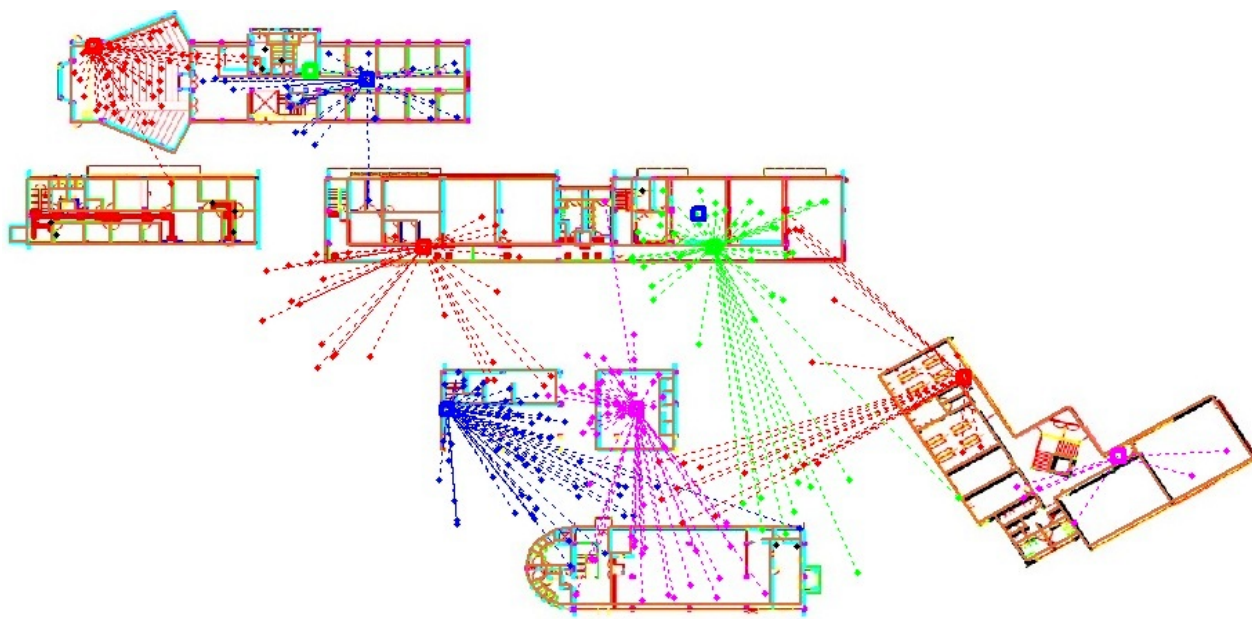


Figura 4: Melhor solução encontrada pelo AG utilizando 4 canais



O algoritmo genético desenvolvido, juntamente com as heurísticas embarcadas no mesmo, conseguiu priorizar, de maneira eficiente, os APs que possuíam um número maior de conexões, resultando uma porcentagem menor de usuários sofrendo com interferência. Por fim, vale ressaltar que este é um cenário real, na qual os usuários desta rede estão experimentando muitos problemas de acesso, e que estes podem ser facilmente resolvidos (ou atenuados) com a adoção deste método.

### 6.3. Considerações Finais

O uso crescente de aplicativos on-line que demandam cada vez mais largura de banda e atrasos mínimos de transmissão impele às WLANs a necessidade de oferecer serviços de rede com alta qualidade para seus usuários. Estes requerimentos têm se tornado ainda maiores com a tendência BYOD (*bring your own device*), na qual os usuários ficam ainda mais dependentes de seus dispositivos (smartphones, tablets, notebooks). Tais avanços justificam o aumento de atenção que as redes 802.11 tiveram nos últimos anos, por parte da comunidade científica. Este trabalho propõe o uso de algoritmos genéticos para resolver o problema de alocação de canais em redes WiFi de grande porte. Duas abordagens principais foram empregadas neste estudo: o uso de canais com sobreposição parcial e a presença de outras WLANs com administração independente no mesmo ambiente. Os dados para simulação dos resultados foram obtidos por meio de um completo mapeamento de um cenário real, que consiste na rede de um campus universitário.

Os resultados obtidos mostram que as soluções encontradas para as duas abordagens utilizadas (3 e 4 canais) foram de longe, mais eficientes que o esquema de atribuição de canais atualmente em uso na WLAN do campus, demonstrando a importância da realização deste estudo. Além disso, com o uso de 4 canais sobrepostos foi possível reduzir em mais de 10 % a quantidade de clientes que sofrem interferência na rede. Por fim, podemos concluir que de um método estocástico como o AG se justificou para resolução de tal problema, pois o tempo computacional foi baixo e o algoritmo foi capaz de gerar soluções de qualidade em espaços de dimensões elevadas.

### Agradecimentos

Os autores agradecem à Universidade Federal de Ouro Preto pelo apoio financeiro, por meio do Edital de Auxílio Financeiro à Pesquisador/PROPP.

### Referências

- Balbi, H., Fernandes, N., Souza, F., Carrano, R., Albuquerque, C., Muchaluat-Saade, D., e Magalhães, L. (2012). Centralized channel allocation algorithm for IEEE 802.11 networks. In *Global Information Infrastructure and Networking Symposium (GIIS), 2012*, p. 1–7. IEEE.
- Brélez, D. (1979). New methods to color the vertices of a graph. *Communications of the ACM*, 22(4):251–256.
- Chiochan, S., Hossain, E., e Diamond, J. (2010). Channel assignment schemes for infrastructure-based 802.11 WLANs: A survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 12(1).
- da Silva, M. W. e de Rezende, J. F. Um mecanismo para a seleção dinâmica de canal em redes IEEE 802.11 infra-estruturadas.
- Lee, J.-H., Han, B.-J., Lim, H.-J., Kim, Y.-D., Saxena, N., e Chung, T.-M. (2009). Optimizing access point allocation using genetic algorithmic approach for smart home environments. *The Computer Journal*, 52(8):938–949.
- Leung, K. K. e Kim, B.-J. (2003). Frequency assignment for IEEE 802.11 wireless networks. In *Vehicular Technology Conference, 2003. VTC 2003-Fall. 2003 IEEE 58th*, volume 3, p. 1422–1426. IEEE.
- Lima, M. P., Rodrigues, T. B., Alexandre, R. F., Takahashi, R. H., e Carrano, E. G. (2014). Using evolutionary algorithms for channel assignment in 802.11 networks. In *Computational Intelligence for Communication Systems and Networks (CICOMMS), 2014 IEEE Symposium on*, p. 1–8. IEEE.



- Lima, M. P., Carrano, E. G., e Takahashi, R. H. (2012). Multiobjective planning of wireless local area networks (wlan) using genetic algorithms. In *Evolutionary Computation (CEC), 2012 IEEE Congress on*, p. 1–8. IEEE.
- Luiz, T. A., Lima, M. P., Alexandre, R. F., Carrano, E. G., e Takahashi, R. H. C. (2013). Alocação de canais em redes wlan infraestruturadas utilizando algoritmos genéticos. *XLV Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Natal*.
- Mengual, E., Garcia-Villegas, E., e Vidal, R. (2013). Channel management in a campus-wide wlan with partially overlapping channels. In *Personal Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), 2013 IEEE 24th International Symposium on*, p. 2449–2453. IEEE.
- Mi, P. e Wang, X. (2012). Improved channel assignment for wlangs by exploiting partially overlapped channels with novel cir-based user number estimation. In *Communications (ICC), 2012 IEEE International Conference on*, p. 6591–6595. IEEE.
- Mishra, A., Banerjee, S., e Arbaugh, W. (2005). Weighted coloring based channel assignment for wlangs. *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*, 9(3):19–31.
- Noraziah, A. e AN, A. (2012). An improved of channel allocation for wlan using vertex merge algorithm.
- Rappaport, T. S. (2002). *Mobile radio propagation: Large-scale path loss*. Prentice Hall, 2nd edition.
- Riihijarvi, J., Petrova, M., e Mahonen, P. (2005). Frequency allocation for wlangs using graph colouring techniques. In *Wireless On-demand Network Systems and Services, 2005. WONS 2005. Second Annual Conference on*, p. 216–222. IEEE.
- Scully, T. e Brown, K. N. (2009). Wireless lan load balancing with genetic algorithms. *Knowledge-Based Systems*, 22(7):529–534.