

Universidade Federal de Ouro Preto
Departamento de Computação e Sistemas
Colegiado de Engenharia de Computação



Seleção de canais parcialmente sobrepostos em redes IEEE 802.11 utilizando algoritmos genéticos

Éverton Vieira Rodrigues

Trabalho de Conclusão de Curso

ORIENTAÇÃO:

Rafael Federico Alexandre

Maio, 2017

João Monlevade/MG

Éverton Vieira Rodrigues

**Seleção de canais parcialmente sobrepostos em
redes IEEE 802.11 utilizando algoritmos
genéticos**

Orientador: Rafael Federico Alexandre

Coorientador: Marlon Paolo Lima

Monografia apresentada ao curso de Engenharia de Computação do Departamento de Computação e Sistemas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia da Computação

Universidade Federal de Ouro Preto

João Monlevade

Maior de 2017

R696s Rodrigues, Éverton Vieira.
 Seleção de canais parcialmente sobrepostos em redes IEEE802.11 utilizando
 algoritmos genéticos [manuscrito] / Éverton Vieira Rodrigues. - 2017.

 60f.: il.: color; grafs; tabs.

 Orientador: Prof. Dr. Rafael Frederico Alexandre.
 Coorientador: Prof. Dr. Marlon Paolo Lima.

 Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Instituto de
 Ciências Exatas e Aplicadas. Departamento de Computação e Sistemas de
 Informação.

 1. Redes locais de computação. 2. Canais de distribuição (redes locais). 3.
 Algoritmos genéticos. 4. Análise de redes (planejamento). I. Alexandre,
 Rafael Frederico. II. Lima, Marlon Paolo. III. Universidade Federal de Ouro
 Preto. IV. Título.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E APLICADAS
COLEGIADO DE ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

ANEXO IV – Folha de Aprovação
Curso Engenharia de Computação

FOLHA DE APROVAÇÃO DA BANCA EXAMINADORA

**Seleção de canais parcialmente sobrepostos em redes IEEE 802.11
utilizando algoritmos genéticos**

Éverton Vieira Rodrigues

Monografia apresentada ao Departamento de Computação e Sistemas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial da disciplina CSI496 – Trabalho de Conclusão de Curso II, do curso de Bacharelado em Engenharia de Computação e aprovada pela Banca Examinadora abaixo assinada:

Prof. Dr. Rafael Frederico Alexandre

Departamento de Computação e Sistemas – UFOP

Prof. Me. Marlon Paolo Lima

Departamento de Computação e Sistemas – UFOP

Prof. Dr. George Henrique Godim da Fonseca

Departamento de Computação e Sistemas – UFOP

Prof. Me. Theo Silva Lins

Departamento de Computação e Sistemas - UFOP

João Monlevade, 19 de maio de 2017



ANEXO III – Ata de Defesa

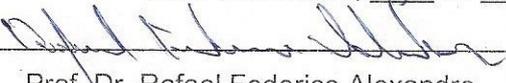
ATA DE DEFESA

Aos 19 dias do mês de maio de 2017, às 17 horas e 30 minutos, na sala C do Bloco e 204 do Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas, foi realizada a defesa de Monografia pelo aluno **ÉVERTON VIEIRA RODRIGUES**, sendo a Comissão Examinadora constituída pelos professores: Dr. Rafael Federico Alexandre, Me. Marlon Paolo Lima, Dr. George Henrique Godim da Fonseca e Me. Theo da Silva Lins.

O candidato apresentou a monografia intitulada: "*Seleção de canais parcialmente sobrepostos em redes IEEE 802.11 utilizando algoritmos genéticos*". A comissão examinadora deliberou, por unanimidade, pela aprovação do candidato, com nota 9,0 (noze), concedendo-lhe o prazo de 15 dias para incorporação das alterações sugeridas ao texto final.

Na forma regulamentar, foi lavrada a presente ata que é assinada pelos membros da Comissão Examinadora e pelo graduando.

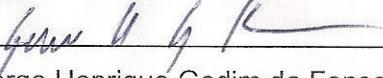
João Monlevade, 19 de maio de 2017


Prof. Dr. Rafael Federico Alexandre

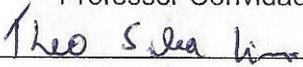
Professor Orientador/Presidente


Prof. Me. Marlon Paolo Lima

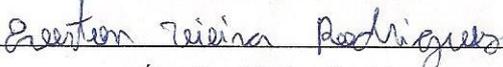
Professor Co-orientador


Prof. Dr. George Henrique Godim da Fonseca

Professor Convidado


Prof. Me. Theo Silva Lins

Professor Convidado


Éverton Vieira Rodrigues

Graduando



UFOP
Universidade Federal
de Ouro Preto

UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E APLICADAS
COLEGIADO DE ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

ANEXO II – TERMO DE RESPONSABILIDADE

Curso Engenharia de Computação

TERMO DE RESPONSABILIDADE

Eu, Éverton Viera Rodrigues, declaro que o texto do trabalho de conclusão de curso intitulado “*Seleção de canais parcialmente sobrepostos em redes IEEE 802.11 utilizando algoritmos genéticos*” é de minha inteira responsabilidade e que não há utilização de texto, material fotográfico, código fonte de programa ou qualquer outro material pertencente a terceiros sem as devidas referências ou consentimento dos respectivos autores.

João Monlevade, 19 de maio de 2017


Assinatura do aluno

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, por ser essencial em minha vida, ao meu pai Helió Vieira do Nascimento, minha mãe Maria Santíssima Rodrigues Vieira, a minha irmã Hellen Maria Vieira Rodrigues, meus professores e amigos.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer primeiramente a minha família que me forneceu apoio durante todos estes anos, meus amigos e colegas que contribuíram tanto para meu crescimento pessoal e profissional durante a realização do curso. Ao meu orientador Rafael Federico Alexandre e ao meu Coorientador Márton Paolo Lima, por terem me dado esta oportunidade de desenvolver mais um trabalho juntamente a eles, aos demais professores que contribuíram para a aquisição de conhecimento aplicado neste e em diversos outros trabalhos ao longo da graduação, fica o meu muito obrigado.

*“Pouco conhecimento faz com que
as pessoas se sintam orgulhosas.
Muito conhecimento, que se sintam humildes.
É assim que as espigas sem grãos erguem
desdenhosamente a cabeça para o Céu,
enquanto que as cheias as baixam para a terra,
sua mãe.”
(Leonardo da Vinci)*

Resumo

Os canais de frequência em redes locais sem fio (WLAN) são recursos escassos nos padrões que operam em 2,4 GHz. Esta limitação pode gerar severos problemas de interferência em ambientes com muitos dispositivos Wi-Fi, uma vez que existem somente três canais sem sobreposição espectral. Este trabalho emprega um algoritmo genético para definir o mapeamento de canais de uma WLAN em um campus universitário, na qual é investigada 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-chaves: Redes WLAN, Alocação de Canais, Algoritmos Genéticos

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.

Key-words: WLAN networks, Channel Allocation, Genetic Algorithms.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Modo Infraestrutura	32
Figura 2 – Modo ESS	33
Figura 3 – Modo ad hoc	34
Figura 4 – Canais de uma rede Wlan	34
Figura 5 – Fluxograma de um AG básico	38
Figura 6 – Planta	47
Figura 7 – Gráfico	50
Figura 8 – Resultado 4 canais 1º piso	52
Figura 9 – Resultado 4 canais 2º piso	53
Figura 10 – Resultado 4 canais 3º piso	54
Figura 11 – Resultado 4 canais 4º piso	55

Lista de tabelas

Tabela 1 – Versões do padrão IEEE 802.11	32
Tabela 2 – Dados do Cenário	49
Tabela 3 – Parâmetros de execução do Algoritmo Genético	49
Tabela 4 – Resultado da execução do AG	51

Lista de abreviaturas e siglas

AG	Algoritmo Genético
AP	Access Point - Ponto de Acesso
BSSID	Basic Service Set Identifier - Identificador de Conjunto de Serviço Básico
DS	Distribution System - Sistema de distribuição
DSATUR	Degree of Saturation
ESSID	Extended Service Set Identifier - Identificador de Conjunto de Serviço Estendido
IBS	Independant basic service set - Conjunto de serviços básicos independentes
ICEA	Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas
IEEE	Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos
IP	Internet Protocol
ISM	Industrial, Scientific & Medical
NIC	Network Interface Card - Placa de interface de rede
SRS	Stochastic Remainder Sampling - Amostragem de Demanda Estocástica
SSID	Service Set IDentifier - Identificador de conjunto de serviços
SUS	Stochastic Universal Sampling - Amostragem Universal Estocástica
UFOP	Universidade Federal de Ouro Preto
WLAN	Wireless Local Area Network - Rede de área local sem-fio

Sumário

I	INTRODUÇÃO	23
1	INTRODUÇÃO	25
1.1	Problema	25
1.2	Objetivo	26
1.3	Justificativa	27
1.4	Revisão Bibliográfica	27
1.5	Estrutura do Trabalho	28
II	CONCEITOS GERAIS	29
2	REDES WLANS	31
2.1	Os modos de funcionamento de uma rede WLAN	31
2.2	Canais de uma WLAN	34
3	ALGORITMOS EVOLUCIONÁRIOS	37
3.1	Algoritmos Genéticos	37
III	METODOLOGIA	39
4	MODELO MATEMÁTICO	41
5	ALGORITMO PROPOSTO	43
IV	RESULTADOS	45
6	RESULTADOS COMPUTACIONAIS	47
6.1	Cenário e Parâmetros	47
6.2	Resultados	49
7	CONCLUSÃO	57
	Conclusão	57
	REFERÊNCIAS	59

Parte I

Introdução

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 dimensões elevadas: (LEUNG; KIM, 2003), (RIIHJÄRVI; PETROVA; MÄHÖNEN, 2005), (SCULLY; 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; CARRANO; TAKAHASHI, 2012), (LUIZ et al., 2013), (LIMA et al., 2014).

1.1 Problema

A grande maioria dos aparelhos de WLAN existentes (802.11n e 802.11g) operam nas bandas não licenciadas ISM (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; 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; KIM,

2003), (RIIHJÄRVI; PETROVA; MÄHÖNEN, 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 uns 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. Um conceito muito importante em qualquer comunicação sem fio é a relação sinal-ruído (SINR), que descreve a potencia do sinal comparado com as interferências somadas ao ruído de fundo. Sendo assim, quanto maior for a SINR, melhor é a potencia do sinal, isso permite um maior *throughput* pois, 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 distancias maiores e ultrapassar mais barreiras, permitindo melhor cobertura do ambiente.

Por fim, como em muitos caso não é possível aumentar o sinal (caso do ICEA/UFOP), pois exige aquisição de novos equipamentos, ou uma mudança física de local dos APs, o que pode ser muito trabalhosa. Assim, o foco do trabalho está em melhorar a relação SINR através da redução de interferências no ambiente.

1.2 Objetivo

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 três 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. Assim, 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.

1.3 Justificativa

O modelo de alocação de canais, da rede Minha UFOP WIFI atualmente utilizado, não está satisfazendo os critérios de desempenho. Assim por meio deste trabalho, é proposto um modelo baseado em algoritmos genéticos que utilize canais parcialmente sobrepostos para alocação, de modo a melhorar a situação atual da rede. De modo paralelo demonstrar que a abordagem de canais parcialmente sobrepostos resulta em soluções melhores que o tradicional uso de apenas três canais que não possuem sobreposição.

1.4 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. 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 (RIIHJÄRVI; PETROVA; MÄHÖNEN, 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; CARRANO; TAKAHASHI, 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.

(MI; 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 são avaliadas matematicamente e envolvidas na atribuição do canal. (MISHRA; BANERJEE; ARBAUGH, 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. (MENGUAL; GARCIA-VILLEGAS; VIDAL, 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).

(SILVA; REZENDE, 2006), foi proposto 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.

1.5 Estrutura do Trabalho

Este trabalho está organizado da seguinte forma: i) uma revisão bibliográfica do tema é apresentada no capítulo 2; ii) a caracterização do problema é discutido no capítulo 3; iii) o modelo matemático será ilustrado no capítulo 4 ; iv) detalhes do algoritmo proposto no capítulo 5; v) por fim, os resultados obtidos por meio da aplicação do algoritmo desenvolvido são apresentados no capítulo 6.

Parte II

Conceitos Gerais

2 Redes WLANs

Uma rede sem fio local é uma tecnologia que faz uso de ondas eletromagnéticas de radiofrequência para transmissão de dados em redes locais. São utilizadas para prover acesso à Internet em residências, escritórios e locais públicos. Sua grande vantagem está na praticidade, mobilidade e conforto que ela oferece aos seus usuários.

O princípio da rede sem fio nasceu a partir da invenção do primeiro sistema de telegrafia sem fio, criada por Guglielmo Marconi ([MARCONI; SPECIFICATION, 1900](#)), cujo funcionamento se baseava no uso de ondas de rádio.

O desenvolvimento da tecnologia permitiu que anos mais tarde, mais precisamente em 1990, o Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) instaurasse um comitê para definição de um padrão para conectividade sem fio. O desenvolvimento foi motivado pela necessidade de se conectar dispositivos móveis à internet, sem a necessidade de cabos. A abordagem mais prática foi em equipar os dispositivos com transmissores e receptores de rádio com ondas curtas ligados a pontos de acesso conectados à Internet por meio de cabos. Assim em 1997 o IEEE lançou o padrão 802.11 ([CROW et al., 1997](#)).

O padrão IEEE 802.11, que funcionava a 1 Mbps ou 2 Mbps, não era aceito devido ser muito lento, o que motivou o início de trabalhos em padrões mais rápidos. Uma divisão se desenvolveu dentro do comitê, resultando em dois novos padrões, que foram publicados em 1999. O padrão 802.11a que utilizava a faixa de frequência de 5,0 GHz e alcançava velocidade de até 54 Mbps. E o padrão 802.11b que fazia uso da mesma frequência do padrão 802.11, 2,4 GHz e alcançava velocidade de até 11 Mbps. Esses novos subpadrões foram essenciais para a popularização das redes WLANs.

Comparado às antigas redes a cabos, as redes sem fio vêm mostrando o seu crescimento de forma surpreendente, principalmente na criação de aplicativos que viabiliza a transferência de informações tanto para fins comerciais como para uso pessoal. Assim novas versões do padrão foram e continuam sendo desenvolvidas para atender o grande crescimento da tecnologia. Entre as versões desenvolvidas está o 802.11a, 802.11b, 802.11n e 802.11ac. A tabela a seguir exemplifica as principais diferenças entre eles.

2.1 Os modos de funcionamento de uma rede WLAN

Existem diferentes tipos de equipamento para instalar uma rede sem fio. Os adaptadores sem fio (em inglês wireless adapters ou network interface controller, notado NIC) trata-se de uma placa de rede de norma 802.11 que permitem a uma máquina conectar-se a uma rede sem fios. Esses adaptadores wireless são conhecidos como estações.

Tabela 1 – Versões do padrão IEEE 802.11

Versão	Banda (GHz)	Taxa Max (Mbps)	Ano
802.11	2,4	02	1997
802.11a	5,0	54	1999
802.11b	2,4	11	1999
802.11g	2,4	54	2003
802.11n	2,4/5,0	300/600	2009
802.11ac	5,0	3200	2013

Os pontos de acesso (AP do inglês Access point) que permitem dar um acesso à rede às diferentes estações vizinhas equipadas de adaptadores wireless.

O padrão 802.11 define dois modos operacionais, o modo infraestrutura no qual os clientes sem fios são conectados a um ponto de acesso e o modo ad hoc no qual os clientes são conectados uns aos outros sem nenhum ponto de acesso.

Em modo infraestrutura, cada computador estação conecta-se um ponto de acesso via uma ligação sem fios. O conjunto formado pelo ponto de acesso e as estações situadas na sua zona de cobertura chama-se conjunto de serviços básicos (ou BSS) e constitui uma célula. Cada BSS é identificado com um BSSID, um identificador de 6 bytes (48 bits). No modo infraestrutura, o BSSID corresponde ao endereço MAC do ponto de acesso. A Figura 1, retirada de (KUROSE et al., 2010).

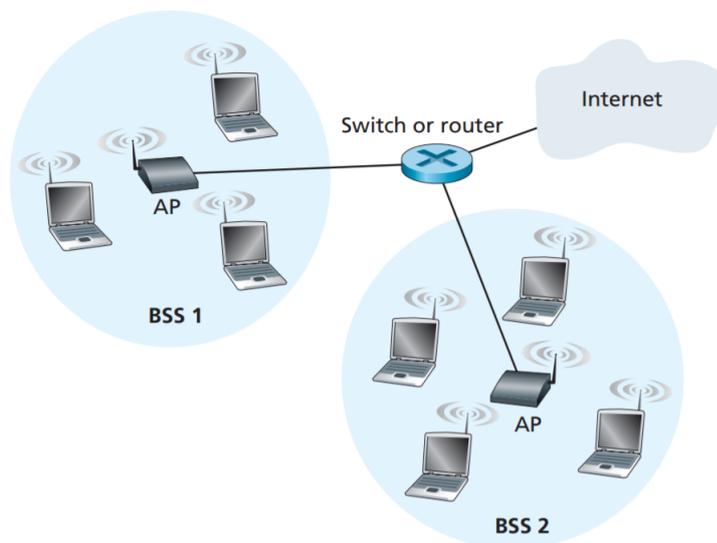


Figura 1 – Modo Infraestrutura IEEE 802.11

É possível ligar vários pontos de acesso entre eles por uma ligação chamada sistema de distribuição (DS do inglês Distribution System) para constituir um conjunto de serviços vasto (ES). O sistema de distribuição (DS) pode ser por cabo entre dois pontos de acesso ou mesmo uma rede sem fio, como mostrada na Figura 2, retirada de (KUROSE et al., 2010)

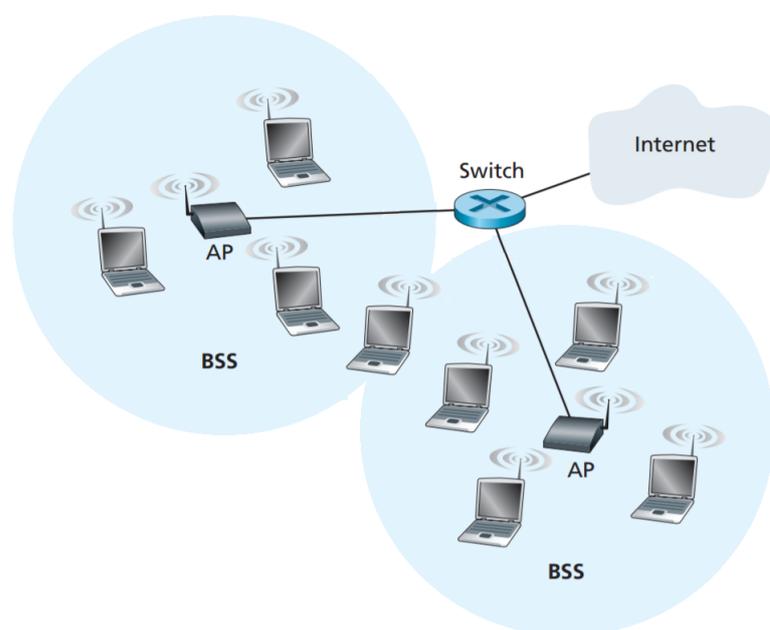


Figura 2 – Modo ESS IEE 802.11

Um ESS é identificado por um ESSID (Service Set Identifier), ou seja, um identificador de 32 caracteres (no formato ASCII) que serve de nome para a rede. O ESSID, frequentemente abreviado em SSID, representa o nome da rede e representa em certa medida um primeiro nível de segurança, na medida em que o conhecimento do SSID é necessário para que uma estação se ligue à rede wireless.

Quando um usuário se move o adaptador rede sem fios da sua máquina é capaz de mudar de ponto de acesso de acordo com a qualidade de recepção dos sinais que provêm dos diferentes pontos de acesso. Os pontos de acesso comunicam entre eles graças ao sistema de distribuição, para informações sobre as estações e permitir, se for caso disso, a transmissão dos dados das estações móveis. Esta característica, que permite às estações “passar de maneira transparente” de um ponto de acesso a outro, chama-se roaming.

Em modo ad hoc, as máquinas sem fios clientes conectam-se umas às outras para constituir uma rede ponto a ponto (*peer to peer, em inglês*), ou seja, uma rede na qual cada máquina desempenha ao mesmo tempo o papel de cliente e o papel de ponto de acesso. A Figura 3, retirada de (KUROSE et al., 2010).

O conjunto formado pelas diferentes estações chama-se conjunto de serviços de base independentes (em inglês independent basic service set, abreviado em IBSS). Um IBSS é assim uma rede sem fios constituída no mínimo por duas estações e que não utiliza ponto de acesso. O IBSS constitui, por conseguinte uma rede efêmera que permite a pessoas situadas numa mesma sala trocar dados. É identificado por um SSID, como é um ESS em modo infraestrutura.

Numa rede ad hoc, o alcance do BSS independente é determinado pelo alcance de cada

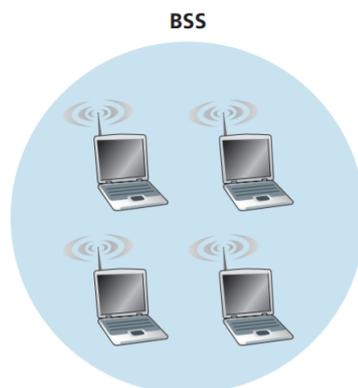


Figura 3 – Modo ad hoc IEEE 802.11

estação. Isto significa que se duas das estações das redes estiverem fora de alcance uma da outra, não poderão comunicar, ainda que “vejam” outras estações. Com efeito, contrariamente ao modo infraestrutura, o modo ad hoc não propõe um sistema de distribuição capaz de transmitir os dados de uma estação à outra. Assim, um IBSS é por definição uma rede sem fios restrita.

2.2 Canais de uma WLAN

Apesar de sua relativa simplicidade de operação e utilização, existem algumas configurações das redes IEEE 802.11 que necessitam de algum cuidado, pois podem causar sérios impactos no seu desempenho. Este é o caso da atribuição do canal de operação, que determina a faixa de frequência a ser utilizada para as transmissões em cada BSS. De acordo com o padrão IEEE 802.11, o canal utilizado pelos dispositivos de uma mesma rede é fixo e único.

A banda ISM 2,4 GHz é uma das mais concorridas faixas de frequência não licenciada utilizadas atualmente. Compreendendo um intervalo de frequência que vai de 2,4 GHz até 2,5GHz, esta banda é largamente utilizada em redes sem fio que utilizam os padrões IEEE 802.11b/g/n. O padrão IEEE 802.11 divide a utilização da ISM 2,4 GHz em canais 14 canais (variando de acordo com a região), separando cada canal por 5 MHz e uma largura de banda de 22 MHz, como mostrado na Figura 4 retirada de (CHIEOCHAN; HOSSAIN; DIAMOND, 2010).

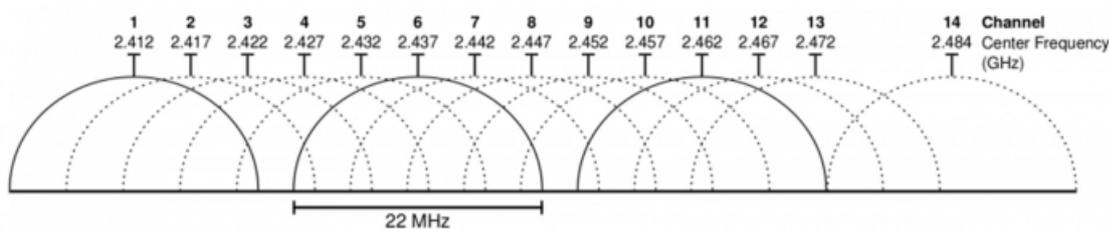


Figura 4 – Canais de uma rede Wlan

Esta divisão limitada de canais da banda ISM, aliada ao crescimento da utilização de redes Wi-Fi como solução de conectividade em cenários domésticos e corporativos fez com que problemas de reutilização de canal e interferências a partir de canais adjacentes tornassem-se muito mais frequentes. Este tipo de interferência geralmente é causado pela má distribuição na escolha dos canais, o que impacta diretamente no desempenho da rede.

3 Algoritmos Evolucionários

Algoritmos Evolucionários são técnicas computacionais que tem sua inspiração nos conceitos da teoria de seleção natural das espécies proposta por Darwin (DARWIN, 1897). No geral os algoritmos evolucionários são utilizados em soluções de problemas de otimização e aprendizado de máquina. Ótimos em procurar soluções de problemas complexos ou com espaço de soluções muito curto, o que os tornam problemas de difícil modelagem e solução quando se aplicam métodos de otimização convencionais. As características dos Algoritmos Evolucionários mais precisamente o Algoritmo Genético se encaixam perfeitamente na resolução do nosso problema de alocação de canais na rede da minha UFOP WIFI.

3.1 Algoritmos Genéticos

Estes algoritmos são inspirados nos processos genéticos de organismos biológicos para procurar soluções ótimas ou subótimas. Para tanto, procede-se da seguinte maneira: codifica-se cada possível solução de um problema em uma estrutura chamada de "cromossomo", que é composta por uma cadeia de bits ou símbolos. Estes cromossomos representam indivíduos, que são evoluídos ao longo de várias gerações, de forma similar aos seres vivos, de acordo com os princípios de seleção natural e sobrevivência dos mais aptos, descritos pela primeira vez por Charles Darwin em seu livro "A Origem das Espécie" (DARWIN, 1897). Emulando estes processos, os algoritmos genéticos são capazes de "evoluir" soluções de problemas do mundo real.

Os cromossomos, ou indivíduos, são então submetidos a um processo evolucionário que envolve avaliação, seleção, recombinação (*crossover*) e mutação. Após vários ciclos de evolução a população deverá conter indivíduos mais aptos. Os algoritmos genéticos utilizam uma analogia direta deste fenômeno de evolução na natureza, onde cada indivíduo representa uma possível solução para um problema dado. A cada indivíduo atribui-se um valor de avaliação: sua aptidão, que indica quanto à solução representada por este indivíduo é boa em relação às outras soluções da população. Desta maneira, o termo População refere-se ao conjunto de todas as soluções com as quais trabalha o sistema. Aos indivíduos mais adaptados é dada uma probabilidade maior de se reproduzirem mediante cruzamentos com outros indivíduos da população. A mutação também tem um papel significativo, ao introduzir na população novos indivíduos gerados de maneira aleatória.

O processo de evolução começa com a criação aleatória dos indivíduos que formarão a população inicial. A partir de um processo de seleção baseado na aptidão de cada indivíduo, são escolhidos indivíduos para a fase de reprodução que cria novas soluções utilizando-se, para isto, um conjunto de operadores genéticos. Existem diferentes métodos empregados para seleção

dos indivíduos, sendo que os mais encontrados na literatura são: Roleta, Torneio, Ranking, Amostragem Determinística, *Stochastic Universal Sampling* (SUS) e *Stochastic Remainder Sampling* (SRS) (GOLDBERG; HOLLAND, 1988). Deste modo, a aptidão do indivíduo determina o seu grau de sobrevivência e, assim, a possibilidade de que o cromossomo possa fazer parte das gerações seguintes.

A mutação é o operador responsável por introduzir novas características genéticas na população e, eventualmente, restaurar material genético perdido ao longo do processo de evolução (JÚNIOR; NETO; SILVA, 2012). Dessa forma, a mutação cria diversidade em alguns indivíduos da população, mudando aleatoriamente alguns genes desses indivíduos. Isto quer dizer que podem ser geradas soluções-candidatas que possuem características que não estavam presentes em nenhum dos indivíduos da população corrente.

Para determinar o final da evolução pode-se fixar o número de gerações, o número de indivíduos criados, ou ainda condicionar o algoritmo à obtenção de uma solução satisfatória, isto é, quando atingir um ponto específico. Outras condições para a parada incluem o tempo de processamento e o grau de similaridade entre os elementos numa população (convergência). Um esboço das operações básicas realizadas em um Algoritmo Genético é apresentado na Figura 5, retirada de (LIMA, 2015).

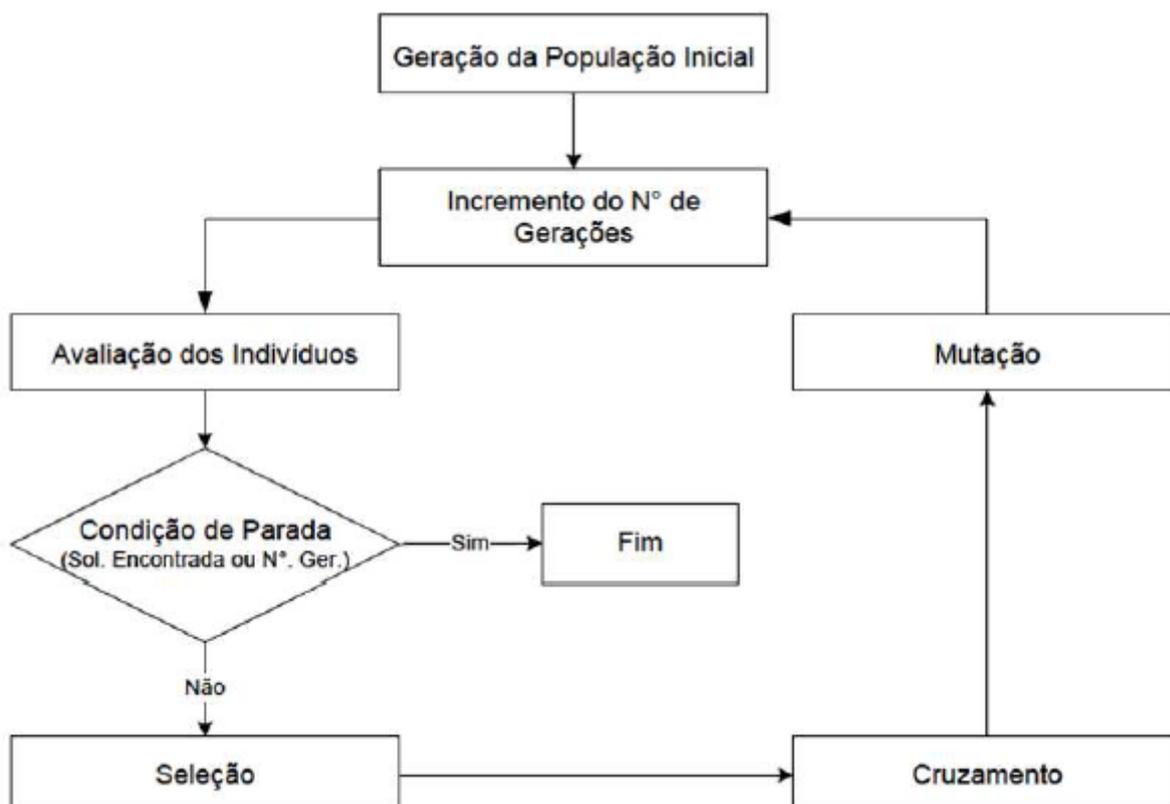


Figura 5 – Fluxograma de um AG básico

Parte III

Metodologia

4 Modelo Matemático

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. As restrições e a função objetivo usadas são definidos nas equações (4.1) a (4.9):

$$s_{i,j} = \begin{cases} 1, & \text{se } RSS_{i,j} \geq RSS_{min}; \\ 0, & \text{caso contrário.} \end{cases} \quad (4.1)$$

$$r_{i,j} = \begin{cases} 1, & \text{se } i \neq j; \\ 0, & \text{caso contrário.} \end{cases} \quad (4.2)$$

$$t_{i,j} = \begin{cases} 1, & \text{se } k_i = k_j; \\ 0.77, & \text{se } |k_i - k_j| = 1; \\ 0.72, & \text{se } |k_i - k_j| = 2; \\ 0.6, & \text{se } |k_i - k_j| = 3; \\ 0.22, & \text{se } |k_i - k_j| = 4; \\ 0, & \text{se } |k_i - k_j| \geq 5; \end{cases} \quad (4.3)$$

$$PL(d_{i,j}) = PL(d_0) + 10 \cdot n \cdot \log \left(\frac{d_{i,j}}{d_0} \right) + \sum PAF \quad \forall i \in \text{Cliente}, \quad \forall j \in \text{AP}. \quad (4.4)$$

$$RSS_{i,j} = Pt + Gt + Gr - PL(d_{i,j}) - \beta \quad \forall i \in \text{Cliente}, \quad \forall j \in \text{AP}. \quad (4.5)$$

$$SINR_{i,j} = \frac{RSS_{i,j}}{\sum_{j=1}^C RSS_{i,j} \cdot s_{i,j} \cdot r_{i,j} \cdot t_{i,j} + \text{Ruído}} \quad \forall i \in \text{Cliente}, \quad \forall j \in \text{AP}. \quad (4.6)$$

$$SINR_{avg} = \frac{\sum_{j=1}^C SINR_{i,j}}{N_C} \quad (4.7)$$

Sendo:

$$\mathcal{K}^* = \arg \max_K SINR_{avg} \quad (4.8)$$

Sujeito a:

$$k_i \in \{1, 2, 3, \dots, 13\} \quad \forall i \in \{1, \dots, n\} \quad (4.9)$$

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 *C_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.
- β 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 (4.9) refere-se ao limite de canais disponíveis em WLANs de 2,4 GHz. As variáveis binárias $s_{i,j}$ e $r_{i,j}$ (Eq. (4.1) e (4.2)) 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. (4.3), representa o fator de interferência entre o canais do AP (*j*) que atende o cliente (*i*) e do que gera a interferência. Na Eq. (4.6) que define a relação sinal-ruído, a constante *Ruído* recebe o valor de -100 dBm, referente a faixa de frequência utilizada pela rede WLAN (2,4 GHz) (RAPPAPORT, 2002). Já Pt , Gt e Gr são definidas de acordo com o cenário a ser aplicado.

Neste trabalho $PL(d_0)$ foi configurado em 40,2 dB para $d_0 = 1m$ e β 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 definido por PAF , considerando perdas causadas por obstáculos foram estimadas com base no modelo *log-normal shadowing* (RAPPAPORT, 2002), tal como mostrado na Eq. (4.4). 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 no Capítulo 4. Cada solução representa o mapeamento de canais atribuídos em todos os APs do cenário. Sendo assim, a 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

```

Input: C: /*Conjunto de clientes presentes no cenário*/
Input: AP: /*Conjuntos de APs*/
Input: g: /*Número de gerações*/
Input: tpop: /*Tamanho da população*/
Input: pCross: /*Probabilidade de cruzamento*/
Input: pMut: /*Probabilidade de mutação*/
Input: RSS: /*Matriz de níveis de sinais*/
Output: Pop: /*Melhor solução encontrada*/
1  $t \leftarrow 0$ 
2  $Pop \leftarrow makePop(AP)$ 
3 while  $t \leq g$  do
4    $evaluate(Pop, RSS, C, AP)$ 
5    $Mate \leftarrow binaryTournament(Pop)$ 
6    $offsprings \leftarrow crossover(Mate, pCross)$ 
7    $offsprings \leftarrow mutation(offsprings, pMut)$ 
8    $Pop \leftarrow refresh(offsprings)$ 
9    $sort(Pop)$ 
10   $t \leftarrow t + 1$ 
11 return  $Pop$ 

```

No Pseudocódigo 1, cada individuo representa o mapeamento de canais operados pelos pontos de acesso presentes no cenário a ser avaliado, assim o número de genes do individuo corresponde à mesma quantidade de pontos de acesso. 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.

A forma de seleção utilizada foi o 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 o outro não irá imediatamente, mas permanecerá com chances de ser novamente escolhido a participar da seleção.

Parte IV
Resultados

6 Resultados Computacionais

Neste capítulo são apresentados resultados obtidos pelo algoritmo genético proposto, em duas condições de projeto: três canais não sobrepostos e quatro canais com pequena sobreposição 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, campi 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 "MinhaUFOPWiFi") 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 6.

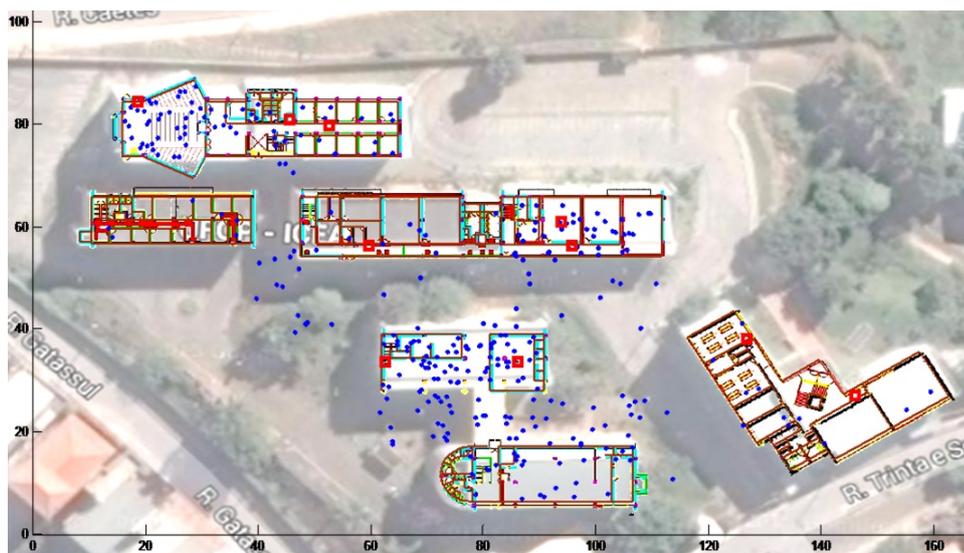


Figura 6 – Planta baixa do ICEA/UFOP

A rede "MinhaUFOPWiFi" 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 "MinhaUFOPWiFi" 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 rede Administrativa, o gerenciamento da "MinhaUFOPWiFi" 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 "MinhaUFOPWiFi", 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 2, os dados referente aos equipamentos foram retirados de seus respectivos fabricantes.

Tabela 2 – Dados do Cenário

Parâmetro	Valores
Área de cobertura total	13.800 m^2
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 - MinhaUFOPWiFi	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 3. Sendo executado em um computador com processador Intel Core i7-3612QM de 2.10 GHz, memoria de 8 GB DDR3 e 1 TB de HD, rodando Windows 10 Home de 64 bits, que precisou de alguns segundos para retornar os resultados. Os testes foram realizados em duas etapas, fazendo uso de um conjunto de três canais não sobrepostos e quatro canais com sobreposição.

Tabela 3 – 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 7 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 es-

quema 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 geração 9, os resultados do mapeamento com 4 canais já superam os da execução final do mapeamento com canais não-sobrepostos.

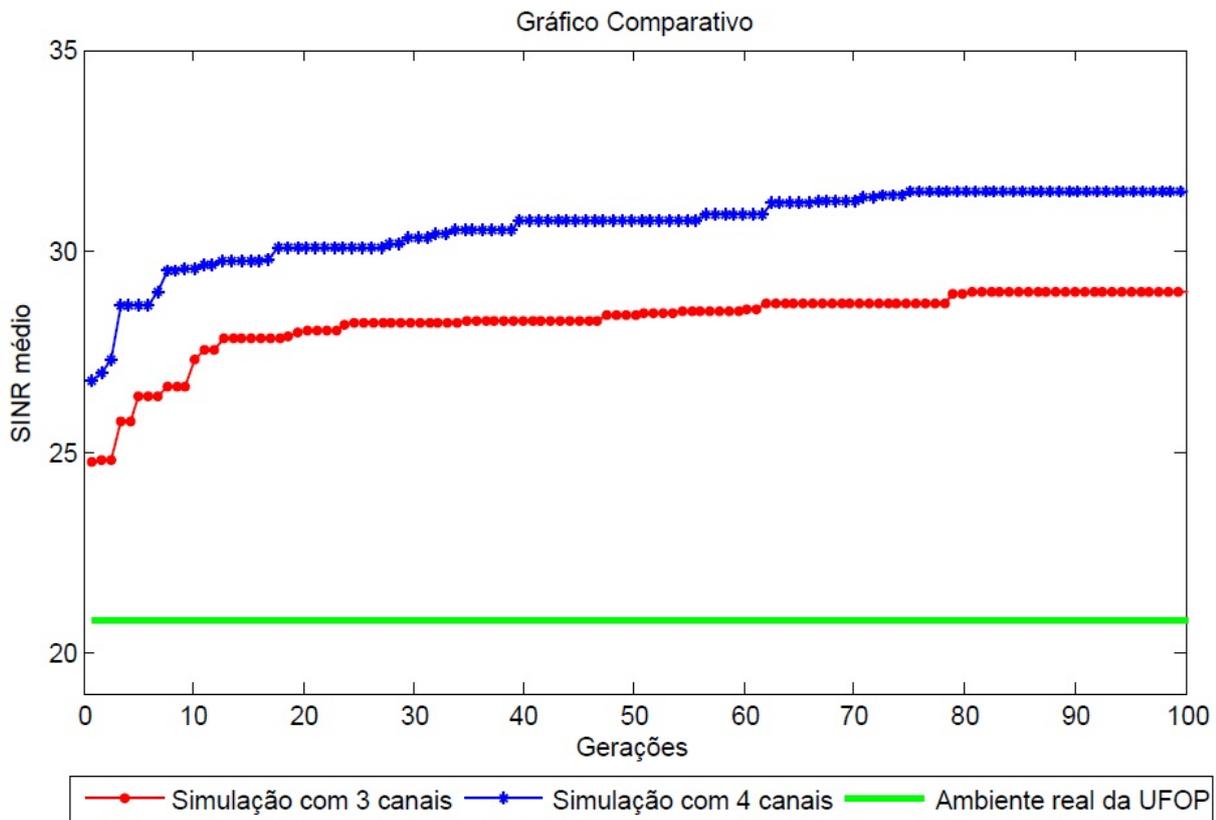


Figura 7 – Gráfico de convergência do Algoritmo Genético

A Tabela 4 exibe dados da melhor, pior e valores médios 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 4 – 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	20,8	63,04	-	-

As Figuras 8, 9, 10 e 11 exibem a melhor solução encontrada para a configuração de quatro canais do campus da UFOP, para cada piso. Neste caso, é possível visualizar concentrações de usuários, o que dificulta o planejamento da rede, além da demanda de clientes fora das edificações. Nestas Figuras, 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 (onde há uma maior concentração de usuários). 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.

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.

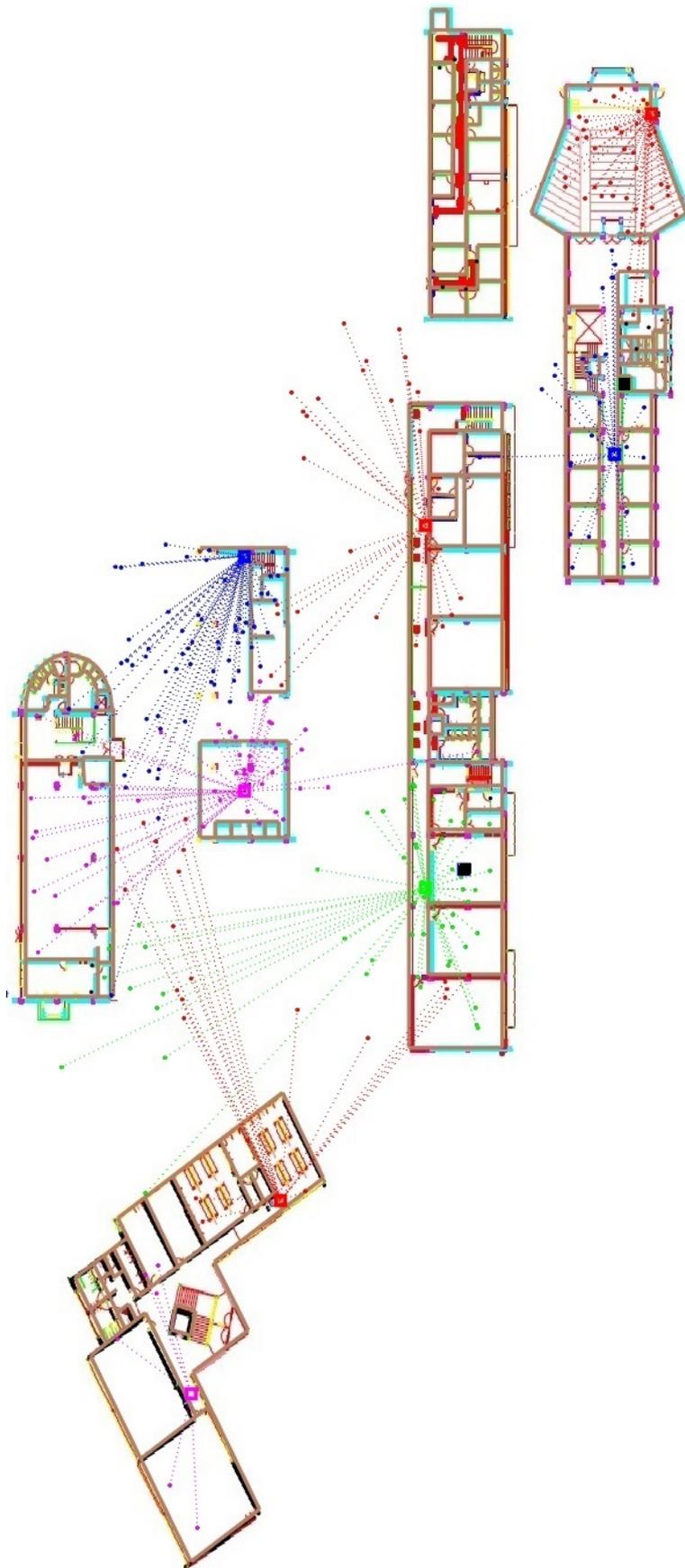


Figura 8 – Melhor solução encontrada pelo AG utilizando 4 canais para o 1º piso

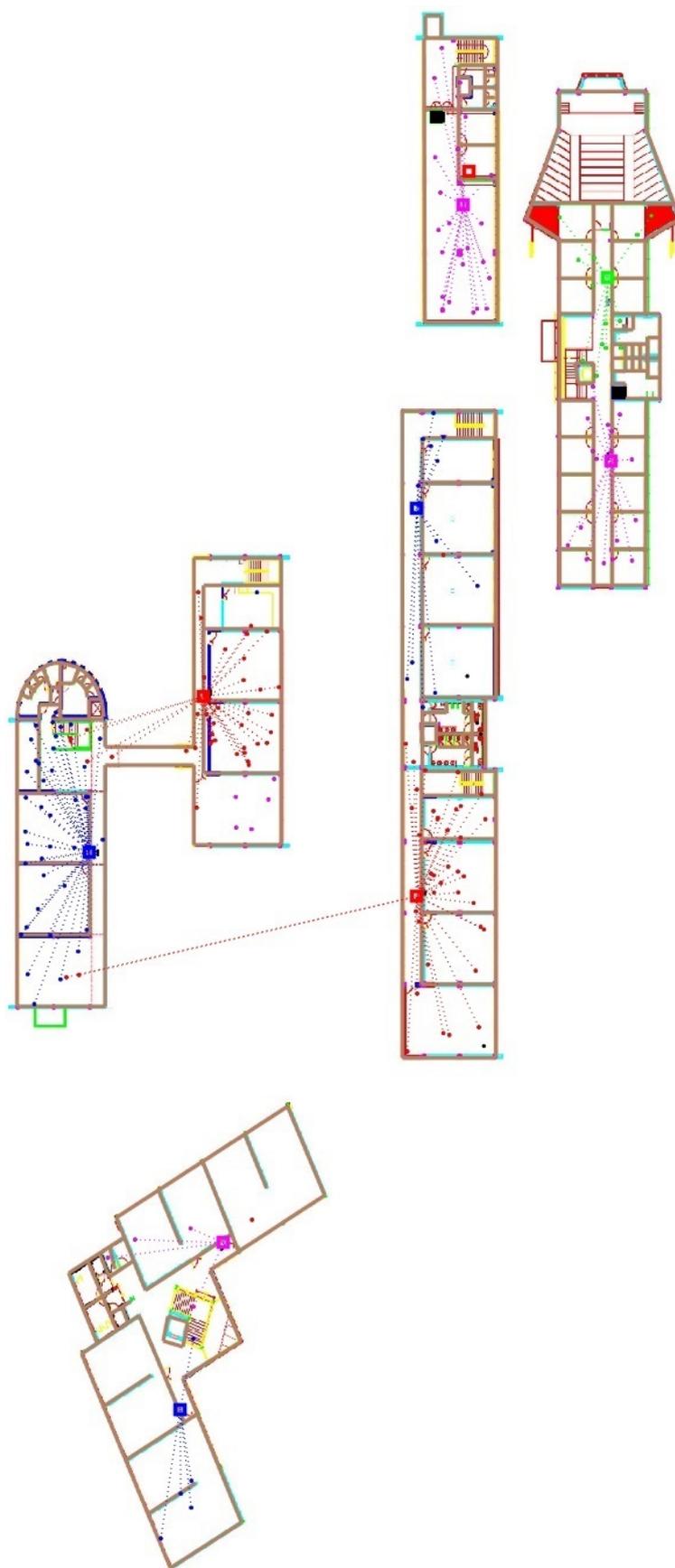


Figura 9 – Melhor solução encontrada pelo AG utilizando 4 canais para o 2º piso



Figura 10 – Melhor solução encontrada pelo AG utilizando 4 canais para o 3º piso



Figura 11 – Melhor solução encontrada pelo AG utilizando 4 canais para o 4º piso

7 Conclusão

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 características principais foram consideradas 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 algoritmo foi capaz de gerar soluções de qualidade mesmo para um cenário de dimensões elevadas.

Como sugestão de trabalhos futuros, pode-se realizar um planejamento que indique o posicionamento ideal dos pontos de acesso para o cenário estudado, posteriormente uma nova alocação de canais e realizar uma comparação dos resultados utilizando uma análise estatística de modo a encontrar a melhor configuração possível.

Referências

- BALBI, H. et al. Centralized channel allocation algorithm for ieee 802.11 networks. In: IEEE. *Global Information Infrastructure and Networking Symposium (GIIS), 2012*. [S.l.], 2012. p. 1–7. Citado na página 27.
- BRÉLAZ, D. New methods to color the vertices of a graph. *Communications of the ACM*, ACM, v. 22, n. 4, p. 251–256, 1979. Citado na página 27.
- CHIEOCHAN, S.; HOSSAIN, E.; DIAMOND, J. Channel assignment schemes for infrastructure-based 802.11 wlans: A survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, IEEE, v. 12, n. 1, 2010. Citado na página 34.
- CROW, B. P. et al. Ieee 802.11 wireless local area networks. *IEEE Communications magazine*, IEEE, v. 35, n. 9, p. 116–126, 1997. Citado na página 31.
- DARWIN, C. The origin of species by means of natural selection, or, the preservation of favored races in the struggle for life. vol. 1. *International Science Library*, The Werner Company, 1897. Citado na página 37.
- GOLDBERG, D. E.; HOLLAND, J. H. Genetic algorithms and machine learning. *Machine learning*, Springer, v. 3, n. 2, p. 95–99, 1988. Citado na página 38.
- JÚNIOR, L. J.; NETO, F. M. M.; SILVA, L. C. N. da. Uma abordagem baseada em algoritmo genético para recomendação de objetos de aprendizagem sensível ao contexto do estudante. In: *Brazilian Symposium on Computers in Education (Simpósio Brasileiro de Informática na Educação-SBIE)*. [S.l.: s.n.], 2012. v. 23, n. 1. Citado na página 38.
- KUROSE, J. F. et al. *Redes de Computadores ea Internet: uma abordagem top-down*. [S.l.]: Pearson, 2010. Citado 2 vezes nas páginas 32 e 33.
- LEE, J.-H. et al. Optimizing access point allocation using genetic algorithmic approach for smart home environments. *The Computer Journal*, Br Computer Soc, v. 52, n. 8, p. 938–949, 2009. Citado na página 25.
- LEUNG, K. K.; KIM, B.-J. Frequency assignment for ieee 802.11 wireless networks. In: IEEE. *Vehicular Technology Conference, 2003. VTC 2003-Fall. 2003 IEEE 58th*. [S.l.], 2003. v. 3, p. 1422–1426. Citado 2 vezes nas páginas 25 e 26.
- LIMA, M. P. *Planejamento Multiobjetivo de Redes Locais sem Fio Indoor Utilizando Algoritmos Híbridos*. Dissertação (Mestrado), Belo Horizonte, MG, Brasil, 2015. Disponível em: <<http://www.ppgce.ufmg.br/defesas/137M.PDF>>. Citado na página 38.
- LIMA, M. P.; CARRANO, E. G.; TAKAHASHI, R. H. Multiobjective planning of wireless local area networks (wlan) using genetic algorithms. In: IEEE. *Evolutionary Computation (CEC), 2012 IEEE Congress on*. [S.l.], 2012. p. 1–8. Citado 2 vezes nas páginas 25 e 27.
- LIMA, M. P. et al. Using evolutionary algorithms for channel assignment in 802.11 networks. In: IEEE. *Computational Intelligence for Communication Systems and Networks (CICOMMS), 2014 IEEE Symposium on*. [S.l.], 2014. p. 1–8. Citado na página 25.

- LUIZ, T. A. et al. Alocação de canais em redes wlan infraestruturadas utilizando algoritmos genéticos. *XLV Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Natal, 2013*. Citado 4 vezes nas páginas 25, 27, 43 e 44.
- MARCONI, G.; SPECIFICATION, C. Improvements in apparatus for wireless telegraphy. *British patent*, v. 7, 1900. Citado na página 31.
- MENGUAL, E.; GARCIA-VILLEGAS, E.; VIDAL, R. Channel management in a campus-wide wlan with partially overlapping channels. In: IEEE. *Personal Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), 2013 IEEE 24th International Symposium on*. [S.l.], 2013. p. 2449–2453. Citado na página 28.
- MI, P.; WANG, X. Improved channel assignment for wlans by exploiting partially overlapped channels with novel cir-based user number estimation. In: IEEE. *Communications (ICC), 2012 IEEE International Conference on*. [S.l.], 2012. p. 6591–6595. Citado na página 28.
- MISHRA, A.; BANERJEE, S.; ARBAUGH, W. Weighted coloring based channel assignment for wlans. *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*, ACM, v. 9, n. 3, p. 19–31, 2005. Citado na página 28.
- NORAZIAH, A.; AN, A. An improved of channel allocation for wlan using vertex merge algorithm. 2012. Citado na página 25.
- RAPPAPORT, T. S. *Mobile radio propagation: Large-scale path loss*. 2nd. ed. [S.l.]: Prentice Hall, 2002. Citado na página 42.
- RIIHJÄRVI, J.; PETROVA, M.; MÄHÖNEN, P. Frequency allocation for wlans using graph colouring techniques. In: *WONS*. [S.l.: s.n.], 2005. v. 5, p. 216–222. Citado 3 vezes nas páginas 25, 26 e 27.
- SCULLY, T.; BROWN, K. N. Wireless lan load balancing with genetic algorithms. *Knowledge-Based Systems*, Elsevier, v. 22, n. 7, p. 529–534, 2009. Citado na página 25.
- SILVA, M. W. da; REZENDE, J. F. de. Um mecanismo para a seleção dinâmica de canal em redes ieee 802.11 infra-estruturadas. 2006. Citado na página 28.