



MARCELO RIEDI

Algoritmo Centralizado para Alocação de Canal e de Potência em WLANs

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Informática da Pontifícia Universidade Católica do Paraná como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Informática.

Curitiba
2013

MARCELO RIEDI



Algoritmo Centralizado para Alocação de Canal e de Potência em WLANs

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Informática da Pontifícia Universidade Católica do Paraná como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Informática.

Área de Concentração: Ciência da Computação

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Eduardo Pelenz

DIS
COPIA
2013
et 4

Curitiba
2013

Dados da Catalogação na Publicação
Pontifícia Universidade Católica do Paraná
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI/PUCPR
Biblioteca Central

Riedi, Marcelo
R552a
2013 Algoritmo centralizado para alocação de canal e de potência em WLANs /
Marcelo Riedi ; orientador, Marcelo Eduardo Pellenz. – 2013.
xi, 52 f. : il. ; 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Paraná,
Curitiba, 2013

Bibliografia: f. 50-52

1. Redes locais sem fio. 2. Algoritmos. 3. Informática. 4. Otimização
matemática. I. Pellenz, Marcelo Eduardo. II. Pontifícia Universidade Católica
do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Informática. III. Título.

CDD 20. ed. – 004


Biblioteca Central
Algoritmo centralizado para alocação de
Ac. 309335 - R. 949788 Ex. 1
Doação - PPGIA
Nf.: 28/02/2014

**ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA**

DEFESA DE DISSERTAÇÃO Nº 14/2013

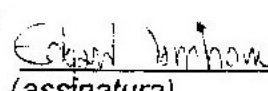
Aos 05 dias do mês de Setembro de 2013 realizou-se a sessão pública de Defesa da Dissertação "**Algoritmo Centralizado para Alocação de Canal e de Potência em WLANs**" apresentado pelo aluno **Marcelo Riedi**, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Informática, perante uma Banca Examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Dr. Marcelo Eduardo Pellenz
PUCPR (Orientador)


(assinatura)

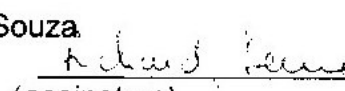
Aprov
(Aprov/Reprov)

Prof. Dr. Edgard Jamhour
PUCPR


(assinatura)


Aprov
(Aprov/Reprov)

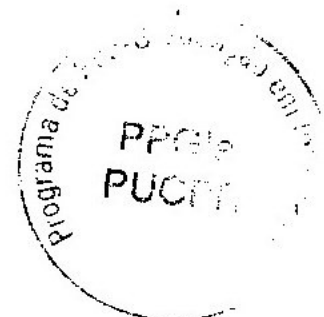
Prof. Dr. Richard Demo Souza
UTFPR


(assinatura)

Aprov
(Aprov/Reprov)

Conforme as normas regimentais do PPGLa e da PUCPR, o trabalho apresentado foi considerado APROVADO (aprovado/reprovado), segundo avaliação da maioria dos membros desta Banca Examinadora. Este resultado está condicionado ao cumprimento integral das solicitações da Banca Examinadora registradas no Livro de Defesas do programa.


Prof. Dr. Mauro Sérgio Pereira Fonseca
Diretor do Programa de Pós-Graduação em Informática



Dedico este trabalho a minha Família e Amigos.

Agradecimentos

Aos professores Programa de Pós-Graduação em Informática Aplicada da Pontifícia Universidade Católica do Paraná em especial professor Marcelo Pellenz pelas orientações nesta jornada. Aos meus pais por seu apoio e confiança. Ao colega nos estudos e amigo Rober Mayer companheiro de muitas e cansativas viagens. Ao amigo João Alexandre por falar o que eu precisava e não o que eu gostaria de ouvir. E por último aos colegas de trabalho e amigos Jhonnatan e Rosilaine que assumiram minhas tarefas e responsabilidades permitindo que eu me afastasse para concluir esta etapa de meus estudos. E por fim a minha amanda esposa Andreia um agradecimento especial pelo seu apoio, carinho, paciência e incentivo.

Sumário

Agradecimentos	ii
Sumário	iii
Lista de Figuras	v
Lista de Tabelas	vii
Lista de Símbolos	viii
Lista de Abreviações	ix
Resumo	x
Abstract	xi
Capítulo 1	
Introdução	1
1.1 Objetivo Geral	2
1.2 Objetivos Específicos	2
1.3 Estrutura do Trabalho	2
Capítulo 2	
Fundamentação Teórica	3
2.1 Introdução	3
2.2 Trabalhos relacionados	5
2.3 Considerações Finais	8
Capítulo 3	

Algoritmo Proposto	9
3.1 Introdução	9
3.2 Definições	9
3.3 Representação em Grafo de uma WLAN	11
3.4 Modelo de Interferência	13
3.5 Algoritmo Proposto	14
3.5.1 Etapa 1 - Inicialização da Rede	15
3.5.2 Etapa 2 - Cálculo da Interferência	18
3.5.3 Etapa 4 - Classificação dos Pontos de Acesso	23
3.5.4 Etapa 5 - Otimização de Canais	25
3.5.5 Etapa 6 - Otimização de Potências	26
3.5.6 Algoritmo	28
Capítulo 4	
Resultados	30
4.1 Introdução	30
4.2 Pontos de Acesso	30
4.3 Definição dos Cenários e Parâmetros	31
4.4 Simulações	33
4.5 Testes Práticos	44
Capítulo 5	
Conclusões e Trabalhos Futuros	48
5.1 Trabalhos Futuros	48
Referências Bibliográficas	50

Lista de Figuras

2.1	Interferência co-canal e canal adjacente em redes padrão 802.11n	4
3.1	Composição de um TP_i	10
3.2	Grafo de interferência de uma WLAN.	12
3.3	Diagrama de blocos do método proposto.	15
3.4	Classificação dos tp_{xy}^i para um ponto de acesso a_i	19
3.5	Topologia da rede A	20
3.6	Exemplo de criação do TPR_1 para o ponto de acesso a_1	21
3.7	Classificação final Média + Variância	24
3.8	Exemplo da classificação final Média + Variância	25
3.9	Topologia de exemplo para função custo.	26
4.1	Topologia da WLAN no Câmpus de Francisco Beltrão.	31
4.2	Média diária de conexões por ponto de acesso	32
4.3	Média diária de conexões por ponto de acesso	33
4.4	Topologia da WLAN no Campus de Pato Branco.	34
4.5	CDF - Interferência Câmpus Francisco Beltrão	38
4.6	PDF - Interferência cenários CT1 e CT2 para Câmpus Francisco Beltrão.	38
4.7	PDF - Interferência cenários CT3 e CT4 para Câmpus Francisco Beltrão.	39
4.8	CDF da Relação Sinal-Interferência (SIR) Câmpus Francisco Beltrão	40
4.9	PDF - Relação Sinal-Interferência (SIR) Câmpus Francisco Beltrão	40
4.10	PDF - Relação Sinal-Interferência (SIR) Câmpus Francisco Beltrão	41
4.11	CDF - Interferência Câmpus Pato Branco	42
4.12	PDF - Interferência Câmpus Pato Branco	42
4.13	PDF - Intêrferencia Câmpus Pato Branco	43

4.14 CDF - Relação Sinal-Interferência (SIR) Câmpus Pato Branco	44
4.15 PDF - Relação Sinal-Interferência (SIR) Câmpus Pato Branco	44
4.16 PDF - Relação Sinal-Interferência (SIR) Câmpus Pato Branco	45
4.17 Pontos de acesso utilizados para os testes práticos	46
4.18 Resultados obtidos em testes práticos	47

Lista de Tabelas

3.1	Fator de Sobreposição [15].	14
3.2	Possíveis classificações para um tp_{xy}^i	20
3.3	Canais atribuídos aos pontos de acesso.	21
3.4	Fator de Sobreposição.	22
3.5	Valores típicos adotados de β e σ_x^2	23
3.6	Classificação dos pontos de acesso segundo a média de <i>RSSI</i>	24
3.7	Classificação dos pontos de acesso segundo a variância do <i>RSSI</i>	24
3.8	Potência atribuída ao ponto de acesso.	27
4.1	Alocação de canais otimizada para os pontos de acesso do cenário CFB. . .	35
4.2	Alocação de canais otimizada para os pontos de acesso do cenário CPB. . .	35
4.3	Alocação de potências otimizada para os pontos de acesso do cenário CFB. .	36
4.4	Alocação de potência otimizada para os pontos de acesso do cenário CPB. .	36
4.5	Probabilidade de interferência ser menor ou igual a -80dBm	37
4.6	Média em dBm e variância da interferência presente em cada um dos cenários. .	37
4.7	Probabilidade do SIR ser menor ou igual a 0dBm.	39
4.8	Média em dBm e variância do SIR presente em cada um dos cenários. . . .	41
4.9	Probabilidade de interferência ser menor ou igual a -80dBm	41
4.10	Média em dBm e variância da interferência presente em cada um dos cenários. .	43
4.11	Probabilidade do SIR ser menor ou igual a zero.	43
4.12	Comparativo entre CFB e CPB da probabilidade de interferência ser menor ou igual a -80dBm	43
4.13	Comparativo entre CFB e CPB da probabilidade do SIR ser menor ou igual a zero.	45
4.14	Posicionamento dos computadores utilizados durante os testes.	46
4.15	Posicionamento e parâmetros configurados nos pontos de acesso para os testes práticos	47

Lista de Símbolos

N	Número de pontos de acesso.
A	Conjunto de pontos de acesso.
M	Número de Canais.
C	Conjunto de Canais.
K	Número de níveis de potência
P	Conjunto de potências
D	Distância entre canais.
n	Tamanho do grid.
E	Conjunto de arestas do grafo
V	Conjunto de vértices do grafo
G	Grafo de uma WLAN
β	Expoente de Perda de Percurso.
σ_x^2	Variância de Sombreamento.

Lista de Abreviações

WLAN	Wireless Local Area Network
AP	Ponto de Acesso
tp	Ponto de teste
TP_i	Conjunto de pontos de teste.
tpr	Ponto de teste resultante
TPR_i	Conjunto de pontos de teste resultante.
G	Grafo de uma WLAN
V	Conjunto de Vértices do Grafo
E	Conjunto de Arestas do Grafo
$SINR$	Signal to Interference plus Noise Ratio
SIR	Signal-to-Interference Ratio
AES	Advanced Encryption Standards
TKIP	Temporal Key Integrity Protocol
CT	Cenário de Teste.

Resumo

A grande demanda por conectividade fez o número de redes locais sem fio (WLANs) aumentar muito nos últimos anos. Estar conectado, tanto para o trabalho quanto para o lazer, se tornou uma necessidade e um modo de vida. Neste ambiente com um grande número de pontos de acesso (APs) e cada vez mais dispositivos acessando a rede, a interferência se tornou um problema grave. Entre as diversas soluções já propostas na literatura para o problema, a alocação de canais e o ajuste de potência estão entre as formas mais eficientes de redução de interferência. Neste trabalho propomos um novo algoritmo centralizado para alocação de canal e de potência em APs de uma WLAN, que combina modelos analíticos de propagação e dados de medição da rede. A estratégia utilizada permite reduzir as áreas de interferência entre os APs, melhorando o desempenho da rede. A principal vantagem da abordagem proposta é que ela não requer um custo excessivo de processamento para predição de área de cobertura e utiliza dados de medição que são facilmente coletados dos APs pelo administrador da rede. Os resultados obtidos mostram uma diminuição na interferência e uma melhora no desempenho real da rede, demonstrando a viabilidade do método proposto.

Palavras-chave: WLANs, Controle de Potência, Alocação de Canais, Algoritmo Centralizado.

Abstract

The great demand for connectivity made the number of Wireless Local Area Networks (WLANs) significantly increase in last years. Being connected, for business or leisure purposes, has come to be a need or even a lifestyle. In such environment, with a great number of access points (APs) and with an increasing number of devices accessing the network, interference has become a serious problem. Among the several solutions proposed in the reviewed literature for such problem, the allocation of channels and power adjustment are among the most efficient ways to reduce interference. This work proposes a new centralized algorithm for power adjustment and channel allocation in APs of a WLAN, which combines analytical propagation models and measured data from the network. The employed strategy allows us to reduce the interference areas between the APs, thus improving the network performance. The main advantage of the proposed approach is that it does not require specific signal site surveys and it uses measuring data that are easily collected from the APs by the network administrator. The obtained results show interference reduction and the improvement of the network's real performance, thus demonstrating the viability of the proposed method.

Keywords: WLANs, Power Control, Channel Allocation, Centralized Algorithm.

Capítulo 1

Introdução

O crescente uso de dispositivos móveis e a necessidade das pessoas estarem conectadas quase todo o tempo, faz com que aumente rapidamente o número de redes sem fio em praticamente todos os locais. Outro fator que tem contribuído para o grande aumento das redes sem fio é o menor custo de equipamentos como smartphones, tablets e laptops, permitindo, assim, uma maior disseminação destas tecnologias [20].

Cada vez mais a Internet faz parte da vida cotidiana, seja para o trabalho ou lazer, estar conectado torna-se uma necessidade constante na sociedade moderna. Com a grande variedade de mídias e aplicações disponíveis a qualidade da conexão é um fator fundamental, não basta mais estar conectado é necessário esta conexão ser de qualidade, para que todas as oportunidades possam ser aproveitadas pelo usuário.

Com o aumento da demanda por conectividade em todos os locais as redes sem fio se disseminaram muito rapidamente e tem se tornado comum, principalmente em áreas com grande circulação de pessoas e em ambientes corporativos. Em muitos casos estas redes pertencem a diferentes organizações ou pessoas que trabalham de forma descentralizada e descoordenadas, isto gera um problema quanto ao gerenciamento dos recursos destas redes.

Em ambientes corporativos, onde existe um gerenciamento centralizado as redes tendem a ser de grande porte e alocar de forma eficiente os recursos para este tipo de redes também pode ser problemático.

Em ambos os tipos de redes a interferência é um dos principais responsáveis pela degradação de desempenho. Devido à pequena quantidade de canais de transmissão disponíveis a sua gerência eficiente de forma a minimizar a interferência co-canal e de canal adjacente se torna crucial para o bom desempenho de uma rede.

Em ambientes corporativos a aplicação de técnicas de gerenciamento centralizadas se mostram uma alternativa viável. nestes ambientes a coleta de dados para análise

também pode ser realizada com maior facilidade, durante este trabalho discutiremos uma forma centralizada de gerenciamento dos recursos da rede que combine métodos analíticos e coleta de dados da rede buscando aliar a facilidade de reconfiguração e mudanças de parâmetros durante os testes apresentados pelos métodos analíticos com uma visão mais clara da rede proporcionada pela coleta de dados.

1.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é a implementação de uma nova estratégia centralizada de gerenciamento de canais e de potência em WLANs, visando melhorar o desempenho da rede. Estes dois fatores são alguns dos principais responsáveis pela interferência neste tipo de rede, e seu gerenciamento eficaz poder melhorar consideravelmente o desempenho de uma WLAN.

Para esta implementação serão usadas informações coletadas da rede somadas a técnicas analíticas para o cálculo de propagação de sinal e interferência presentes na rede.

1.2 Objetivos Específicos

Além do objetivo geral este trabalho terá as seguintes contribuições:

- Utilização de dados coletados de forma centralizada para criação de mecanismos de classificação automática do ambiente onde os pontos de acesso de uma WLAN estão instalados.
- Uso de modelos analíticos para estimar a área de cobertura dos pontos de acesso.
- Composição da interferência presente em uma WLAN.

1.3 Estrutura do Trabalho

O restante deste documento está organizado da seguinte maneira.

Capítulo 2 apresenta o levantamento bibliográfico, neste capítulo são apresentados os conceitos básicos para o entendimento deste trabalho. No capítulo 3 o algoritmo proposto é apresentado em detalhes. No capítulo 4 são apresentados os cenários de simulação e os resultados obtidos. Também é apresentado um teste prático feito utilizando-se os valores de alocação de canais e potência calculados pelo algoritmo proposto. Por fim as conclusões e sugestões de trabalhos futuros são apresentadas.

Capítulo 2

Fundamentação Teórica

2.1 Introdução

Em redes 802.11n operando a 2,4GHz existem apenas 3 canais ortogonais entre si [1], que se usados para configuração em uma área de cobertura não causarão interferência mútua, pois não existe sobreposição de frequência nestes canais [1]. Contudo como existe um número reduzido de canais ortogonais, sua gerência em ambientes com grande densidade de pontos de acesso é bastante difícil e fator altamente relevante para o bom desempenho de uma WLAN.

Podemos definir interferência de canal adjacente como a interferência causada em um canal por seus vizinhos. Como podemos observar na Figura 2.1, se um ponto de acesso utilizar o canal 1 e outro utilizar o canal 5 ainda teremos interferência, pois existe uma pequena faixa de frequência compartilhada entre os dois canais. Quanto mais próximos os canais, maior o efeito da interferência de canal adjacente.

Outro tipo de interferência existente em redes 802.11n é a interferência co-canal, onde dois pontos de acesso utilizando o mesmo canal em sua configuração podem causar contenção ou mesmo interferência mútua, pois transmitem na mesma faixa de frequência.

Ambas as formas de interferência causam degradação no desempenho da rede e devem ser minimizadas para que desta forma, um melhor desempenho possa ser alcançado.

Além do problema como o número reduzido de canais existem outros fatores que podem agravar ou amenizar o problema de desempenho nas redes sem fio. Dentre eles podemos citar a topologia física da rede, potência de transmissão dos pontos de acesso, número de clientes conectados, tráfego na rede e outros equipamentos que se utilizam da mesma frequência por se tratar de uma faixa de espectro livre.

A topologia física da rede pode influenciar no desempenho e mais especificamente

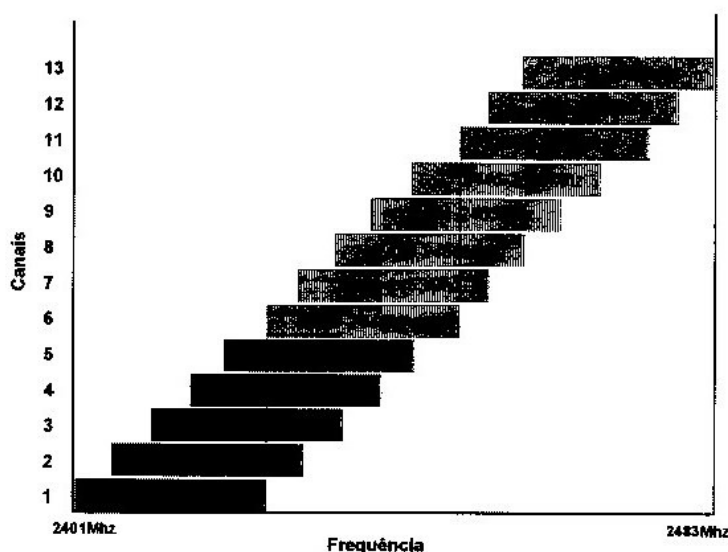


Figura 2.1: Interferência co-canal e canal adjacente em redes padrão 802.11n

na interferência sofrida por um ponto de acesso. Caso muitos pontos de acesso povoem uma pequena área é muito provável que suas áreas de cobertura se sobreponham, ocasionando interferência mútua.

Outro fator que pode causar interferência é a potência de transmissão dos pontos de acesso. Caso esta potência esteja ajustada de forma elevada pode ocasionar interferências nos pontos de acesso vizinhos e em contrapartida se sua potência estiver muito baixa pode não fornecer uma área de cobertura aceitável.

Outros dois fatores que podem degradar o desempenho da rede são o número de clientes conectados a um ponto de acesso e o tráfego gerado pelos clientes. Quanto maior o número de clientes e quando maior o tráfego gerado pelos clientes, menor será o desempenho da rede. É importante notar que nem sempre um grande número de clientes conectados significa uma grande quantidade de tráfego na rede. Um ponto de acesso com poucos clientes pode gerar grande quantidade de informações transmitidas dependendo do perfil do cliente conectado.

Por fim, existem muitos outros equipamentos que operam na mesma frequência das redes 802.11, como por exemplo fornos microondas, telefones sem fio, babás eletrônicas, câmeras de vigilância sem fio, entre outros. Tais equipamentos também são fonte de interferência causando a degradação do desempenho da rede.

2.2 Trabalhos relacionados

Em [9] é apresentada uma proposta para otimização de desempenho para redes sem fio, onde dois critérios são utilizados para sua otimização, primeiro a localização onde os pontos de acesso estão instalados fisicamente e segundo a alocação de canais por eles utilizada. Neste método o espaço físico onde os pontos de acesso serão instalados é mapeado e possíveis pontos de interferência são identificados para conseguir uma melhor cobertura e reduzida interferência entre os pontos de acesso. Após esta fase os canais são atribuídos a cada ponto de acesso com a maior distância entre canais possível. Em uma segunda etapa existe uma reconfiguração dos pontos de acesso baseado em informações coletadas para, assim, maximizar o desempenho da rede.

O mapeamento e reconfiguração da rede apresenta bons resultados porém é inviável em redes já instaladas sendo recomendada sua utilização na fase de projeto da rede. Outro fator limitante para este método são possíveis locais que não disponham de estrutura para instalação de pontos de acesso e tenham sido selecionados na fase de mapeamento.

Mishra [13] propõe uma estratégia distribuída e escalável para um melhor compartilhamento de recursos em redes 802.11, que é implementada em ambientes com várias redes de diferentes domínios administrativos, como por exemplo em um edifício comercial. Duas estratégias são proposta neste trabalho, uma com colaboração entre os pontos de acesso e outra sem esta colaboração. No primeiro método denominado *Hsum* existe troca de informação entre os diversos pontos de acesso para a tomada de decisão referente à qual canal será utilizado. Com a colaboração é possível a utilização de canais parcialmente sobrepostos, aumentando a eficiência da rede. No segundo método denominado *Hminmax* não existe colaboração entre os pontos de acesso, cada um deles toma a decisão de qual canal será utilizado baseado em informações que consegue coletar. A escolha de canal não considera as escolhas de seus vizinhos, visando apenas a redução da interferência por ele sofrida.

Mishra também propõe um método baseado em salto de canais denominado MAX-choop [14], trata-se de um mecanismo descentralizado e sem coordenação proposto para ambientes onde redes de diferentes domínios administrativos coexistam. O método se baseia em informações que o AP obtêm de seus vizinhos e não à necessidade de troca de mensagens entre os diversos pontos de acesso da rede.

Um novo algoritmo heurístico é proposto [10] para solução do problema de atribuições de canais em redes WLANs. Trata-se de um modelo centralizado e considera somente a atribuição dos 3 canais não sobrepostos possíveis em redes 802.11. Fatores como diferentes potências para APs não são considerados no trabalho. Tal técnica foi

aplicada a dois modelos para os quais as soluções ótimas são conhecidas, mostrando-se bastante eficiente, podendo em alguns casos obter uma solução ótima [10].

Apesar de chegar à solução ótima para o problema de alocação de canais o fato da utilização de somente 3 canais e as potências de transmissão não serem consideradas podem ser um fator limitante para sua utilização em redes com uma grande quantidade de pontos de acesso que se encontrem instalados próximos uns aos outros.

Mishra [12] propõe um método baseado no cliente que tem com principal característica a associação de uma alocação de canais eficiente e balanceamento de carga entre os APs da rede. Trata-se de um método centralizado que se mostrou eficiente tanto em redes isoladas quanto em ambientes com múltiplas redes.

Em [4] foram utilizadas duas estratégias para melhorar o desempenho das redes sem fio, a primeira é a otimização da alocação de canais mantendo-se a potência de transmissão dos pontos de acesso. Isso simplifica o processo, pois a relação sinal ruído-interferência (Signal-to- Interference plus Noise SINR) não precisa ser considerada, tornando o processamento mais rápido. A segunda estratégia de otimização considera a potência de transmissão de cada AP, ajustando este parâmetro para reduzir a interferência entre os diversos pontos de acesso da rede. Juntamente com o ajuste das potências é feita uma alocação dos canais disponíveis de forma a reduzir ainda mais a interferência na rede. Este método apresenta uma complexidade maior tendo sua execução mais lenta. Após testes o ajuste de potência dos transmissores não se mostrou vantajoso em pequenas redes.

Chen [5] apresenta duas estratégias para alocação de canais, uma das quais baseada puramente em medições e uma segunda forma onde existe um conhecimento prévio do local onde a rede está localizada. Na primeira das abordagens onde não existe um conhecimento prévio das características da rede a otimização da alocação de canais é realizada unicamente pela coleta de informações feitas pelos clientes ou APs. Esta coleta pode se realizada de três formas, sem coordenação, com coordenação local ou com coordenação global. Na abordagem sem coordenação a interferência é minimizada para uma única célula, sendo considerado célula um AP e o conjunto de usuários ligados a ele. Na abordagem que utiliza coordenação local a otimização é feita para um conjunto de células próximas. Na abordagem de coordenação global a decisão afeta toda a rede. As abordagens com coordenação local e global apresentam uma implementação distribuída e cooperativa para tomada de decisões, na coordenação global a decisão é tomada de forma centralizada.

Na segunda abordagem para solução do problema de alocação de canais, o ambiente e suas particularidades são considerados para tomada de decisões. Informações como layout das construções, localização e propriedades elétricas dos APs são armazenadas em

um ponto central, o qual se comunica com todos os APs da rede. Tais informações são utilizadas na tomada de decisões. A vantagem deste método é a possibilidade de prever as perdas entre o AP e qualquer um de seus clientes em função dos obstáculos existentes no caminho, maximizando assim o throughput da rede. Com o aumento do poder computacional e novos métodos para calcular a perda de sinal, alterações na alocação de canais podem ser recalculadas periodicamente aumentando a eficiência do método.

Apesar do bom desempenho o algoritmo exige um grande conhecimento do local onde a rede esta instalada, esta informação pode ser difícil de obter além de precisar ser constantemente atualizada para manter a eficiência do método. Outro fator limitante é o custo para recalculas e reconfigurar a rede.

Liu [11] propõe uma nova abordagem ao problema de desempenho em redes 802.11, onde a intensidade do sinal e o tráfego de informações são utilizados para uma alocação eficiente de canais. A quantidade de tráfego influencia na interferência sofrida, sendo um fator que deve ser considerado na tomada de decisões. O modelo proposto é dinâmico e pode adaptar-se as mudanças que ocorrem em uma rede sem fio e apresenta uma tomada de decisão centralizada a partir de informações coletadas nos diversos pontos de acesso presente na rede.

Sua principal vantagem é adaptação às mudanças no uso da rede, mas esta adaptabilidade tem como preço o alto custo da coleta e análise dos dados em tempo real.

Xiaonan Yue [20] enfatiza o fato do grande aumento da utilização das redes 802.11, principalmente em cidades, onde são implementadas na maioria das vezes por administradores inexperientes e pertencem a diferentes domínios administrativos, tendo assim muitos problemas no que tange a alocação de canais de forma eficiente. Para solução deste problema um algoritmo descentralizado e sem coordenação é proposto. Tal algoritmo foi denominado de CACAO (Client- Assisted Channel Assignment Optimization) e se utiliza de informações coletadas de seus clientes para tomada de decisões. As informações que podem ser obtidas através dos clientes estão especificadas no padrão 802.11k. Com a utilização de informações coletadas pelos seus clientes tais métricas podem ser utilizadas melhorando a eficiência da seleção dos canais, pois os clientes conectados a um AP podem fornecer informações sobre redes adjacentes ao qual o próprio AP não teria acesso. Em simulações utilizando-se do software NS2 o CACAO mostrou-se mais eficiente que algoritmos como LCCS, MAXChop e Hminmax. A utilização de informações coletadas dos clientes se mostra muito eficiente para otimização de canais em WLANs, porém Xiaonan não considera a potência de transmissão como um fator que pode ajudar na redução da interferência.

2.3 Considerações Finais

Neste capítulo apresentamos alguns dos principais trabalhos que buscam minimizar a interferência em redes sem fio, onde diferentes abordagens são utilizadas com este propósito. Algumas propostas abordam o problema de forma analítica, outras utilizam coleta de dados para sua solução. Algumas pesquisas apresentam algoritmos centralizados outras distribuídos e diferentes critérios como alocação de canais, localização dos pontos de acesso, gerenciamento da potência de transmissão e tráfego de dados na rede são usados como parâmetros.

Este trabalho propõe uma alternativa para solução do problema que funciona de forma centralizada, mesclando a coleta de dados com modelos analíticos de propagação de sinal para alocação eficiente de canais e redução de potência de transmissão buscando minimizar a interferência existente na rede.

Capítulo 3

Algoritmo Proposto

3.1 Introdução

Neste capítulo apresentamos a formulação do algoritmo proposto para alocação de canais e de potência em WLANs, com o objetivo de reduzir a interferência entre pontos de acesso e melhorar o desempenho global da rede em termos de taxa de transmissão. O algoritmo é executado de forma centralizada e utiliza dados de medição dos clientes que são coletados pelos pontos de acesso. Estes dados são utilizados pelo algoritmo proposto para classificar de forma automática o ambiente onde os pontos de acesso estão instalados e também para estimar a utilização de cada ponto de acesso possibilitando, desta forma definirmos estratégias eficientes de redução de potência. Na seção a seguir apresentamos as definições matemáticas necessárias para a formulação do algoritmo proposto.

3.2 Definições

Para formulação do método proposto iremos considerar uma *rede sem fio* (WLAN), do inglês: (*Wireless Local Area Network*) como sendo um conjunto de N *pontos de acesso* (AP) do inglês: (*Access Point*), $A = \{a_1, a_2, \dots, a_N\}$ pertencentes ao mesmo domínio administrativo. Cada ponto de acesso pode selecionar um canal de um conjunto de M canais $C = \{c_1, c_2, \dots, c_M\}$ previamente especificados. Para o Brasil são definidos 11 canais para utilização [1]. Os níveis de potência empregados na transmissão de cada um dos APs presentes na WLAN depende do hardware utilizado [18], mas podemos definir como um conjunto de K níveis de potência tal que $P = \{p_1, p_2, \dots, p_K\}$. Para o bom desempenho de uma rede o espaçamento entre os canais utilizados pelos APs é fundamental, portanto definiremos o distanciamento D entre os canais utilizados pelos APs da seguinte forma

$$D = \{|c_i - c_j| : c_i, c_j \in C\} [18].$$

Como o conjunto de canais C e principalmente potências de transmissão P podendo variar de acordo com o fabricante do equipamento, assumiremos neste trabalho que todos os APs existentes na WLAN, disponibilizam o mesmo conjunto de canais e níveis de potência, sendo uma rede homogênea no que tange ao hardware utilizado nos seus diversos pontos de acesso.

Na abordagem utilizada neste trabalho a área de cobertura da WLAN é representada por um grid de tamanho $n \times n$, cada posição do grid representa $1m^2$ do ambiente que esta sendo simulado. Esta abordagem foi usada em [18]. Desta forma cada uma das posições do grid é uma possível localização de um ponto de acesso ou um cliente da rede. Nos referenciaremos a cada uma das posições do grid como um ponto de teste (tp). O conjunto de todos os tp_{xy}^i de um ponto de acesso a_i é denominado TP_i e pode ser definido por $TP_i = \{tp_{xy}^i; 1 \leq x, y \leq n\}$. Em cada um dos tp_{xy}^i é armazenada a potência do sinal recebida de um determinado ponto de acesso pertencente a rede, a potência é estimada a partir de modelos analíticos de propagação que serão discutidas no decorrer do trabalho. Cada ponto de acesso presente na WLAN, terá seu próprio TP armazenando de forma individualizada a intensidade do seu sinal em cada um dos tp_{xy}^i . A figura 3.1 mostra a composição de um TP .

n					tp_{nn}^i
.					
.					
.					
2	tp_{21}^i	tp_{22}^i			
1	tp_{11}^i	tp_{12}^i			
	1	2	.	.	n

Figura 3.1: Composição de um TP_i

Incluimos o conceito de ponto de teste resultante (tpr), cada ponto de acesso a_i terá seu próprio conjunto de tpr_{xy}^i denominado TPR_i que pode ser definido por $TPR_i = \{tpr_{xy}^i; 1 \leq x, y \leq n\}$. Um TPR é a somatória de todos os TP_s da rede exceto o TP do ponto de acesso ao qual ele pertence. Cada um dos $tpr_{xy}^i \in TPR_i$ pode ser calculado pela equação 3.1.

$$tpr_{xy}^i = \sum_{\forall a_j \in A; a_j \neq a_i} tpr_{xy}^j \quad (3.1)$$

A partir dos *TPRs* é possível estimar qual a interferência existente em cada um dos tpr_{xy}^i pertencentes a um ponto de acesso, e será a forma com que a interferência total da rede será medida.

3.3 Representação em Grafo de uma WLAN

Uma forma usual de representação de WLANs é através de grafos, assim como a conectividade entre os pontos de acesso a interferência também pode ser representada utilizando grafos. Um grafo é uma abstração matemática para representar interações binárias entre elementos de um conjunto [17]. Cada um dos elementos do conjunto é chamado de vértice e a ligação entre dois vértices é denominada aresta. Para representar a interferência em uma rede WLAN por meio de grafos os vértices representam os pontos de acesso (AP) e as arestas representam a interferência existente entre os nós da rede.

Podemos representar a interferência existente em uma WLAN com N nós através um grafo $G = (V, E)$ que é formado por um conjunto de vértices V , e um conjunto de arestas E onde os vértices $V = \{1, \dots, N\}$ correspondentes aos nós da rede e as arestas $e_{ij} = (i, j) \in E$ correspondem a possibilidade de interferência entre o nó i e o nó j [3]. O conjunto de nós vizinhos N_i de um determinado nó i e descrito por [17]:

$$N_i = \{j \in V : (i, j) \in E\}. \quad (3.2)$$

Uma forma de representar um grafo $G = (V, E)$ é através de uma matriz de adjacência $A = [a_{ij}]$ que possui dimensões $n \times n$, onde os elementos da matriz são definidos por:

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{se } (i, j) \in E \\ 0, & \text{caso contrario.} \end{cases} \quad (3.3)$$

A figura 3.2 apresenta um exemplo de topologia de WLAN, onde temos o conjunto de vértices $V = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ e o conjunto de arestas $E = \{e_{12}, e_{13}, e_{24}, e_{34}, e_{45}, e_{56}\}$. Neste caso a aresta e_{12} indica que os vértices 1 e 2 são adjacentes. Desta forma a matriz de adjacência da figura 3.2 é:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

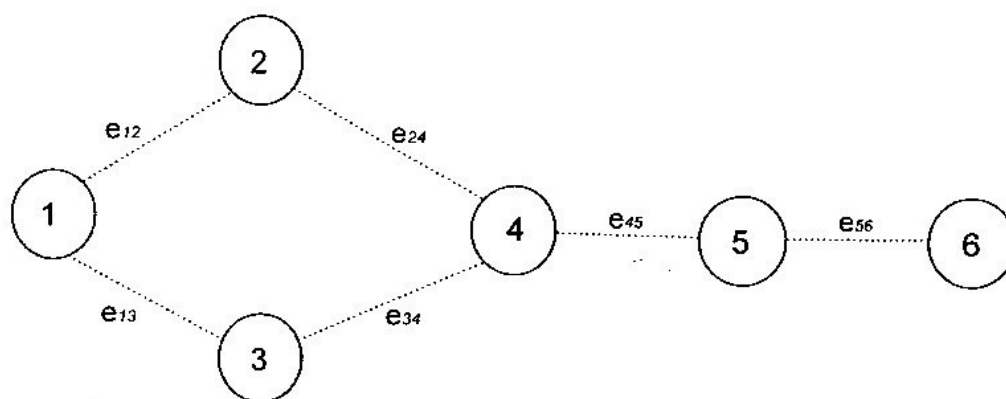


Figura 3.2: Grafo de interferência de uma WLAN.

O grau de um nó i , denominado d_i , corresponde ao número de arestas que existem entre o vértice i e seus vizinhos $j \in N_i$. O grau de um nó i pode ser calculado a partir da matriz de adjacência com:

$$d_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} = \sum_{j=1}^n a_{ji} \quad (3.5)$$

No exemplo apresentado na figura 3.2 os nós $\{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ apresentam grau $d_1 = 2$, $d_2 = 2$, $d_3 = 2$, $d_4 = 3$, $d_5 = 2$ e $d_6 = 1$, respectivamente.

Conhecendo-se a topologia física e os parâmetros de propagação do sinal de uma WLAN é possível criar um grafo da interferência existente. Usaremos grafos de interferência como forma de representação da rede.

3.4 Modelo de Interferência

O modelo de interferência irá definir a intensidade em que dois pontos de acesso irão se interferir, como a degradação da qualidade do sinal esta relacionada a intensidade da interferência recebida os clientes de ambos os pontos de acesso interferentes terão a qualidade da conexão prejudicada. Com a quantidade reduzida de canais e sua configuração eficiente é muito importante para se minimizar a interferência e assim melhorar o desempenho da rede [16].

Uma métrica utilizada para mensurar a qualidade do sinal é o SINR[5]. O SINR percebido por um AP ou um cliente da rede é uma função das transmissões simultâneas que ocorrem em canais sobrepostos [15].

Para modelar a interferência neste trabalho utilizaremos o modelo definido em [15]. Considerando-se uma rede onde um usuário u_i está conectado a um AP a_j ($u_i \in Clientes(a_j)$) que opera em um canal c_n o SINR pode ser definido pela função:

$$\gamma_{a_j}^{c_n} = \frac{S_{a_j \leftarrow u_i}}{N_{a_j} + I_{a_j}} \quad (3.6)$$

onde $S_{a_j \leftarrow u_i}$ representa a potência média recebida pelo cliente u_i e N_{a_j} representa a interferência recebida pelo cliente. O nível de interferência I_{a_j} é calculado por:

$$I_{a_j} = I_{a_i}^a + I_{a_i}^u = \sum_{j \neq i} S_{a_j \leftarrow a_i} + \sum_{u_i \in a_j} S_{a_i \leftarrow u_j} \quad (3.7)$$

onde $I_{a_i}^a$ e $I_{a_i}^u$ representam todas as interferências das demais transmissões, tanto de usuários quanto de pontos de acesso. A interferência pode ser ocasionada tanto por transmissões no mesmo canal, quanto em canais adjacentes, o número de clientes associados ao AP e a quantidade de tráfego podem ser utilizados como fatores para o cálculo da interferência [15] [5] [13].

Sendo a interferência diretamente proporcional a sobreposição de canais é possível a formulação de uma função global de custo com base neste fator [15]. O sinal modulado não filtrado tem uma densidade espectral de potência (*Watts/Hz*) dada por [15] :

$$S(n, f) = \begin{cases} \left| \frac{\sin(2\pi X(n, f))}{2\pi X(n, f)} \right|^2, & \text{for } X(n, f) \neq 0 \\ 1, & \text{for } X(n, f) = 0 \end{cases} \quad (3.8)$$

onde $X = (n, f) = \frac{f - 2412 - 5(n-1)}{BW}$, BW é a largura de banda não nula e $n \in \{1, 2, \dots, 11\}$ é o número do canal. As interfaces de rádio geralmente empregam filtros visando reduzir a interferência de frequências adjacentes, este filtro opera em uma largura de banda de

17MHz e 3dB. Este filtro é representado por [15]:

$$F(n, f) = \frac{1}{[1 + 2.6X(n, f)]^6} \quad (3.9)$$

Na equação 3.8 o fator de sobreposição é calculado por:

$$SO(i, j) = \int_{2200}^{2700} S(i, f)F(i, f)S(j, f)F(j, f)df \quad (3.10)$$

Os valores normalizados dos coeficientes de sobreposição de canais $D = |c_i - c_j|$ são apresentados na tabela 3.1:

Distanciamento entre Canais	Fator de sobreposição
0	1
1	0.7272
2	0.2714
3	0.0375
4	0.0054
5	0.0008
6	0.0002
7 – 10	0

Tabela 3.1: Fator de Sobreposição [15].

Esta função de custo global reflete a degradação de sinal presente na rede, que é proporcional a degradação da taxa de transmissão da rede. Usaremos os valores de sobreposição para mensurar o efeito do uso de canais sobrepostos em uma WLAN. A principal vantagem da utilização de uma função de custo global é poder inferir indiretamente sobre o desempenho da rede sem a necessidade de simulações extensivas [15].

3.5 Algoritmo Proposto

Nesta seção será apresentado o algoritmo proposto que tem por objetivo a gerência de forma centralizada dos canais e da potência em WLANs, combinando técnicas analíticas com a coleta de informações da rede. O objetivo é unir as facilidades oferecidas pelos modelos analíticos, onde a reconfiguração de parâmetros pode ser facilmente realizada, com informações reais mais precisas obtidas através da coleta simplificada de dados. A figura 3.3 mostra as diversas fases do algoritmo. Cada uma das etapas será discutida em detalhes nas próximas seções.

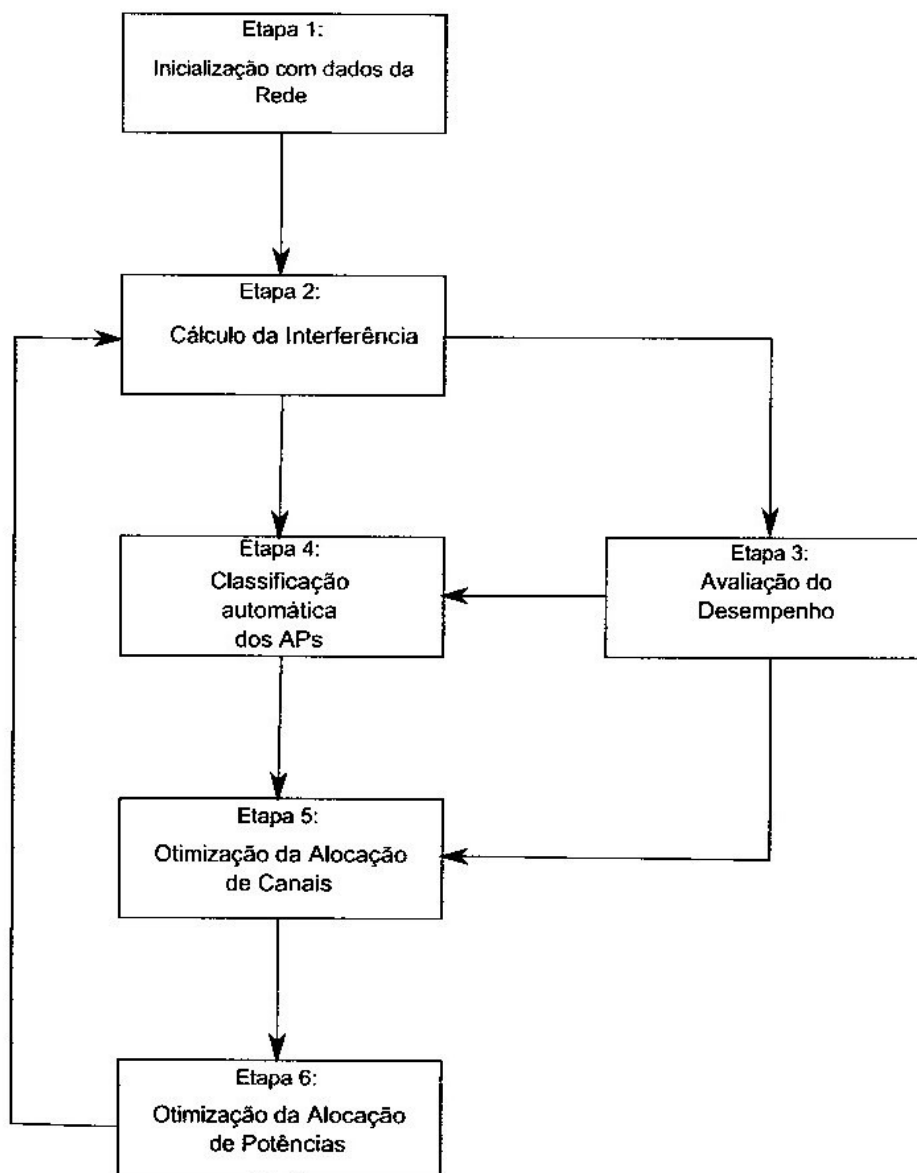


Figura 3.3: Diagrama de blocos do método proposto.

3.5.1 Etapa 1 - Inicialização da Rede

A medição das informações de um ambiente de rádio é de fundamental importância para as novas gerações de WLANs, principalmente em redes que utilizam frequências não licenciadas. O padrão 802.11k [2] aborda algumas das principais deficiências com relação à coleta de informações do ambiente de rádio, que visa fornecer o conhecimento necessário da rede para obter desempenho e confiabilidade exigidos pelos novos padrões de WLANs.

Os atuais padrões 802.11 permitem que exista uma troca de informações entre o ponto de acesso e seus clientes, mas não lhes dá a habilidade de trocar informações de gerência da rede, como por exemplo a interferência sofrida pelo cliente. Isso torna a gerência da rede ineficiente [2]. O novo padrão propõe acrescentar novos parâmetros de medição que ampliem a capacidade de conhecimento do ambiente da rede. O padrão

802.11k visa proporcionar uma troca de informações de gerência, entre pontos de acesso e seus clientes. Este padrão define uma série de pedidos, medições e relatórios das camadas física e de enlace dos clientes. Na maioria dos casos é o ponto de acesso quem irá solicitar as informações de gerência, porém o cliente também pode solicitar informações ao ponto de acesso ao qual está conectado. Estas informações são repassadas as camadas superiores através de uma MIB para tomada das decisões de gerência da rede.

Pontos de acesso podem fornecer informações para seus clientes com as quais uma decisão de *roaming* pode ser tomada. Um ponto de acesso também pode solicitar informações da utilização do canal ou o período que um determinado canal foi utilizado. De posse destas informações um AP poderá saber se existe muita interferência em um canal ou se ele está sendo muito utilizado, realizando desta forma a escolha mais adequada do canal de transmissão.

Com o novo padrão, informações são coletadas dos clientes para se conseguir relatórios mais detalhados. Com uma visão mais completa do ambiente onde a rede se encontra podemos gerenciar melhor o seu desempenho. Com o uso desta nova padronização os usuários passariam a se beneficiar da melhor gerência de redes, com serviços mais estáveis e rápidos e com menos interrupções [2].

Em nosso modelo foram coletadas informações das redes utilizadas como base para os cenários de teste. As informações obtidas são usadas como parâmetros para as simulações e proporcionam uma visão mais clara do comportamento real da rede, fornecendo informações importantes como a distribuição dos clientes na rede e a qualidade do sinal que os clientes recebem. A coleta dos dados foi realizada utilizando-se uma ferramenta de gerência de rede disponibilizada pela Cisco® [7] que permite obter de forma centralizada informações de todos os pontos de acesso pertencentes a rede bem como dos clientes a eles conectados. As informações obtidas através da coleta de dados foram:

- Nome do ponto de acesso - O nome utilizado pelo ponto de acesso na configuração da rede.
- Número de conexões realizadas em cada ponto de acesso - Cada conexão realizada ao ponto de acesso é registrada, desta forma é possível mensurar a utilização da rede.
- Canal utilizado por cada um dos pontos de acesso - Com esta informação é possível saber com exatidão a configuração inicial da rede.

- Potência de transmissão de cada ponto de acesso - Da mesma forma que o canal, esta informação é usada para se obter a configuração inicial da rede.
- Protocolo utilizado para realização de cada uma das conexões - Conhecendo-se o protocolo utilizado pelo cliente é possível obter estatísticas sobre o uso da rede.
- RSSI informado pelo cliente em cada uma das conexões - Este parâmetro é usado como indicativo da intensidade do sinal recebido.
- SNR informado pelo cliente em cada uma das conexões - Este parâmetro é usado como indicativo da qualidade do sinal recebido.

Além das informações obtidas através da ferramenta de gerência, o posicionamento dos pontos de acesso também foi utilizado como um parâmetro conhecido no algoritmo proposto, de maneira a representarmos a topologia física da rede de forma mais precisa, respeitando as distâncias entre os pontos de acesso. Este é um parâmetro importante para a otimização de potências realizada na Etapa 6, com o objetivo de redução de interferência no algoritmo proposto.

Após a fase de coleta os dados passam por um pré-processamento visando eliminar informações que pudessem distorcer os resultados das simulações. Neste pré-processamento conexões com as características listadas abaixo foram eliminadas:

- Duração inferior a um minuto - Tais conexões existentes no relatório e representam tentativas de associação de clientes aos pontos de acesso que não foram bem-sucedidas ou usuários que realizaram conexões e desconectaram imediatamente. Como o trabalho tem o foco na melhora do desempenho e baseia-se em parte na coleta de dados, a utilização de informações de conexões onde o usuário permaneceu conectado um período maior de tempo fornecem informações mais precisas do estado da rede.
- Onde não existiu transferência de dados - Na prática observamos que estas conexões são realizadas por dispositivos configurados para conectar-se automaticamente a rede onde o usuário não tem conhecimento desta conexão e não a está utilizando. Optamos por excluí-las, pois conexões onde o usuário está transferindo dados tem efeito mais significativo sobre a interferência.

A coleta de informações nos possibilita visualizar a rede de forma realista sendo de vital importância para a classificação do ambiente onde os pontos de acesso se encontram.

3.5.2 Etapa 2 - Cálculo da Interferência

Após a Etapa 1 é realizado o cálculo da interferência, que envolve duas fases. Na primeira fase é utilizado um modelo analítico de propagação de sinal para quantificar a potência de sinal gerada por cada um dos pontos de acesso $a_i \in A$ nas diferentes posições do $tp_{xy}^i \in TP_i$. Neste momento são utilizadas informações coletadas na Etapa 1 para posicionar os pontos de acesso no grid e também a potência de transmissão a ser utilizada para os cálculos de propagação do sinal.

O cálculo de propagação de sinal foi realizado da seguinte forma:

$$Pr(d) = Pr(d_0) - 10 * \beta * \log_{10}(d/d_0) + X, \quad (3.11)$$

onde β representa o expoente de perda de percurso, d é a distância entre a posição do ponto de acesso a_i e o tp_{xy}^i para o qual a intensidade do sinal recebido está sendo calculada, X é o sombreamento que é definido de forma aleatória, d_0 a distância de referência para o cálculo de perda de percurso, em nosso modelo assumiremos $d_0 = 1m$ e $Pr(d_0)$ é a potência recebida na distância de referência d_0 em dBm e é calculada por:

$$Pr(d_0) = P_{tx} + G_{tx} + G_{rx} - PL(d_0) \quad (3.12)$$

onde P_{tx} é a potência de transmissão configurada no ponto de acesso a_i , G_{tx} é o ganho da antena do transmissor, G_{rx} é o ganho da antena do receptor e $PL(d_0)$ representa a perda de percurso na distância de referência d_0 e é dada por:

$$PL(d_0) = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot d_0}{\lambda} \right)^2, \quad (3.13)$$

onde λ representa o comprimento de onda.

Ao final deste processo serão criados N conjuntos de TPs onde N corresponde ao número de pontos de acesso presente na rede. Cada um dos conjuntos de TPs gerado representa a influência de um dos pontos de acesso sobre a rede. Em cada um dos $tp_{xy}^i \in TP_i$ é armazenado o nível de sinal em dBm recebido do ponto de acesso a_i . Todos os tp_{xy}^i também recebem uma classificação baseado na potência do sinal recebido. As possíveis classificações são:

- Serviço - onde a potência recebida (Pr) em um tp for $Pr(tp_{xy}^i) \geq P_{th}^{servico}$ onde $P_{th}^{servico}$ representa o limiar de serviço, neste trabalho assumimos que este limiar é **-92dBm**
- Contenção - onde a potência recebida (Pr) em um tp for $Pr(tp_{xy}^i) \leq P_{th}^{servico}$ e

$Pr(tp_{xy}^i) \geq P_{th}^{contencao}$ onde $P_{th}^{contencao}$ representa o limiar de contenção, neste trabalho assumimos que este limiar é de -110dBm

- Interferência - onde a potência recebida (Pr) em um tp for $Pr(tp_{xy}^i) \leq P_{th}^{contencao}$ e $Pr(tp_{xy}^i) \geq P_{th}^{interferencia}$ onde $P_{th}^{interferencia}$ representa o limiar de contenção, neste trabalho assumimos que este limiar é de -120dBm
- Não afetado - onde a potência recebida (Pr) em um tp for $Pr(tp_{xy}^i) \leq P_{th}^{interferencia}$.

A figura 3.4 mostra a representação de área de cobertura ofertada por um ponto de acesso na rede.

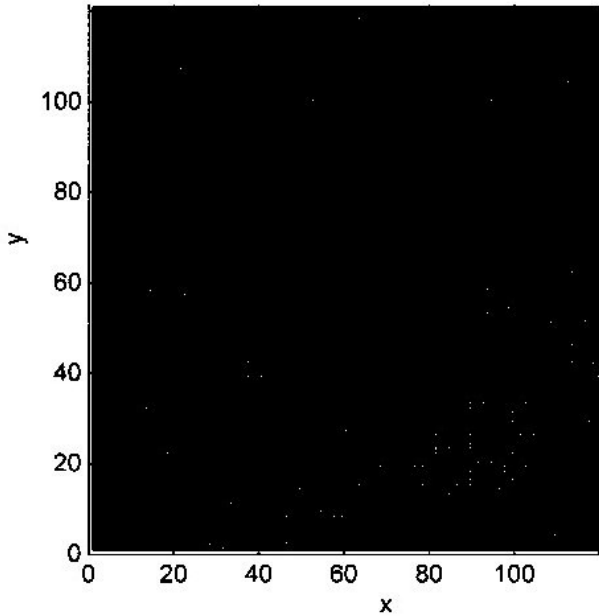


Figura 3.4: Classificação dos tp_{xy}^i para um ponto de acesso a_i .

Após o término da fase 1 onde todos os conjuntos de TPs foram criados inicia-se a fase 2 onde serão criados N conjuntos de $TPRs$. Cada ponto de acesso a_i irá ter seu próprio TPR_i que armazena a soma das potências interferentes de todos os TP_s exceto a de seu próprio TP . Desta forma, cada um dos pontos de acesso terá como mensurar o sinal interferente em cada um dos seus tp_{xy} da rede.

Como já discutido, o espaçamento entre os canais utilizados pelos pontos de acesso influencia na interferência sofrida, para quantificar a sobreposição de canais utilizaremos o fator de sobreposição calculada em [15] e mostrada na Tabela 3.1.

Considerando como exemplo a topologia de rede representada pelo grafo de interferência mostrado na Figura 3.5 onde estão presentes 6 pontos de acesso $A = \{a_1, a_2, \dots, a_6\}$.

Para cada um dos pontos de acesso foi calculado um TP correspondente, onde cada uma das posições $tp_{xy}^i \in TP_i$ foi classificada de acordo com a Tabela 3.2 e também teve armazenada a potência recebida de seu ponto de acesso. Cada um dos TPs e a classificação de cada uma de suas posições tp_{xy}^i é mostrada na Figura 3.6, a legenda para classificação de cada um dos tp_{xy}^i são apresentadas na Tabela 3.2. Ainda na Figura 3.6 é possível ver como os TPs se combinam para formar o TPR referente ao ponto de acesso a_1 . No exemplo mostrado na Figura 3.6 representamos um TP 10×10 o que facilita sua visualização e entendimento, os pontos de acesso foram posicionados em diferentes locais no grid simulando uma rede onde os pontos de acesso estão espalhados pela área total da rede.

Designação	Descrição
S	Serviço
C	Contenção
I	Interferência
N	Não afetado

Tabela 3.2: Possíveis classificações para um tp_{xy}^i .

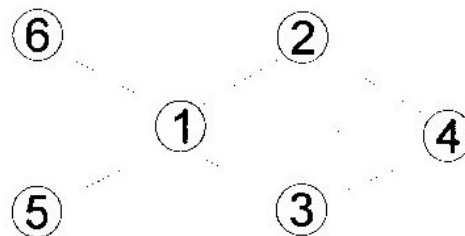


Figura 3.5: Topologia da rede A

Para exemplificar configuraremos os pontos de acesso mostrados na Figura 3.5. A Tabela 3.3 mostra o canal atribuído a cada um dos pontos de acesso. A tabela 3.4 mostra o espaçamento entre os canais utilizados pelos pontos de acesso bem como o fator de sobreposição correspondente. É importante notar que a distância entre os canais é sempre calculada a partir do ponto de acesso a_1 pois neste exemplo queremos calcular o TPR pertencente a ele.

Para o cálculo do $tpr_{1,1}^1 \in TPR_1$ a potência armazenada no $tp_{1,1}^i \in TP_i \forall i \neq 1$ é convertida de dBm para watt e logo após multiplicadas pelo fator de interferência correspondente ao seu espaçamento do canal utilizado pelo ponto de acesso a_1 . Após a conversão as potências são somadas e convertidas novamente para dBm e armazenadas no $tpr_{1,1}^1$. A equação 3.14 mostra o cálculo do $tpr_{1,1}^1$.

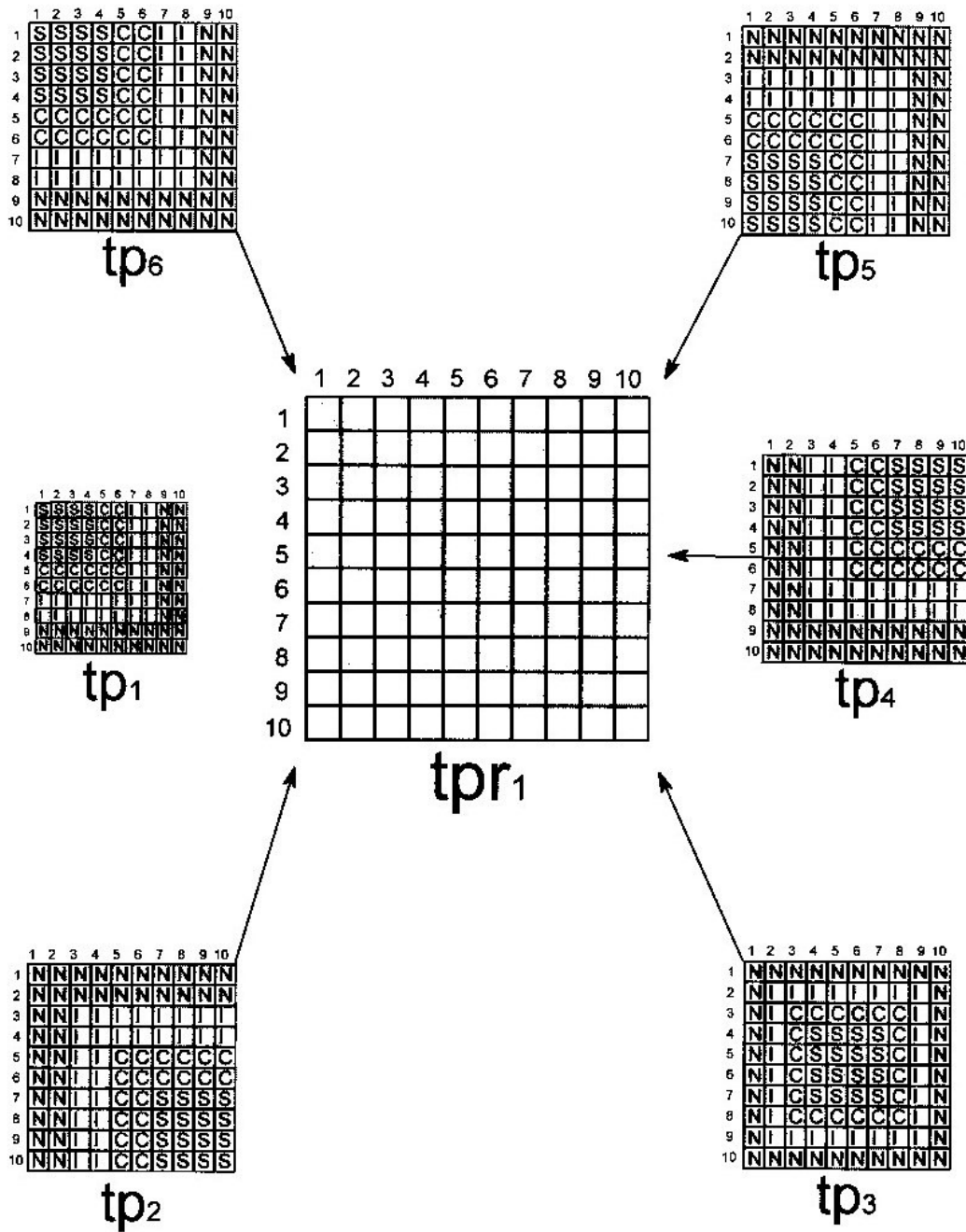


Figura 3.6: Exemplo de criação do TPR_1 para o ponto de acesso a_1

Ponto de Acesso	Canal Alocado
a_1	1
a_2	1
a_3	2
a_4	3
a_5	4
a_6	5

Tabela 3.3: Canais atribuídos aos pontos de acesso.

$$tpr_{1,1}^1 = (tp_{1,1}^2 \cdot 1) + (tp_{1,1}^3 \cdot 0.7272) + (tp_{1,1}^4 \cdot 0.2714) + (tp_{1,1}^5 \cdot 0.0375) + (tp_{1,1}^6 \cdot 0.0054) \quad (3.14)$$

<i>APs</i>	Espaçamento	Fator de Sobreposição
$c_1 \rightarrow c_2$	0	1
$c_1 \rightarrow c_3$	1	0.7272
$c_1 \rightarrow c_4$	2	0.2714
$c_1 \rightarrow c_5$	3	0.0375
$c_1 \rightarrow c_6$	4	0.0054

Tabcla 3.4: Fator de Sobreposição.

Após o cálculo de todos os tpr_{xy}^1 o ponto de acesso a_1 tem armazenado em seu *TPR* a interferência presente na rede já considerando-se a sobreposição de canais. Este procedimento é repetido para todos os pontos de acesso. Isso proporciona a todos os pontos de acesso uma visão da interferência existente na rede e como ela afeta sua área de cobertura.

Também durante a Fase 2, é calculado o *SIR* para cada um dos tpr_{xy}^i . O *SIR* será utilizado como indicativo da qualidade do sinal. O cálculo do *SIR* e representado pela equação 3.15.

$$SIR_{xy}^i \text{ (dB)} = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{S_{xy}^i}{I_{xy}^i} \right) \quad (3.15)$$

onde o S_{xy}^i representa a potência do sinal de serviço em watt gerado pelo ponto de acesso a_i e é calculada por

$$S_{xy}^i \text{ (W)} = \left(10^{tpr_{xy}^i/10} \right) \cdot 10^{-3} \quad (3.16)$$

e I_{xy}^i representa a potência do sinal interferente em watt gerada pelos demais pontos de acesso da rede e é calculada por

$$I_{xy}^i \text{ (W)} = \left(10^{tpr_{xy}^i/10} \right) \cdot 10^{-3} \quad (3.17)$$

Ao término da Fase 2 o cálculo da interferência esta completo. A análise da potência de interferência e da *SIR* é feita através da função densidade de probabilidade (PDF) e da função distribuição cumulativa (CDF).

3.5.3 Etapa 4 - Classificação dos Pontos de Acesso

O ambiente onde os pontos de acesso estão instalados é um fator importante a ser considerado para otimização da rede. Embora o posicionamento do ponto de acesso seja conhecido não é possível inferir sobre o seu ambiente de instalação tendo somente esta informação como base. Para isso seria necessário uma visita ao local onde a rede se encontra para verificar o ambiente onde cada um dos pontos de acesso está instalado, isto seria muito trabalhoso e em alguns casos inviável.

Em nossa proposta incluímos um método de classificação automática do ambiente onde os pontos de acesso se encontram instalados baseado nas informações coletadas na Etapa 1. Classificamos o ambiente onde um ponto de acesso está instalado em duas categorias *indoor* e *outdoor*. Esta informação é útil para atribuição de diferentes valores de expoente de perda de percurso β e variância de sombreamento σ_x^2 . Neste trabalho usaremos os valores calculados em [8] e mostrados na Tabela 3.5 para configuração destes parâmetros dos pontos de acesso.

<i>Ambiente</i>	β	σ^2
<i>indoor</i>	4.01	7.36
<i>outdoor</i>	3.32	4.48

Tabela 3.5: Valores típicos adotados de β e σ_x^2 .

Com base nos dados coletados na Etapa 1 utilizaremos o RSSI informado pelos clientes em cada conexão realizada para classificar de forma automática o ambiente de instalação do ponto de acesso.

Calculando-se a média e a variância do RSSI dos clientes conectados a um ponto de acesso é possível inferir sobre o seu ambiente de instalação. Pontos de acesso com a média de RSSI baixa e uma variância alta indicam que seus clientes estão dispersos por uma área maior. Pontos de acesso com uma média de RSSI alta e variância baixa indicam que seus clientes estão confinados em uma área menor, possivelmente um ambiente *indoor*.

Com estas informações podemos classificar o ambiente em que o ponto de acesso está instalado, pois clientes esparsos sugerem grandes espaços de onde é possível realizar a conexão, característica de ambientes *outdoor*.

Em contrapartida clientes próximos a um ponto de acesso indicam que os clientes estão em ambientes menores como salas ou conjunto de salas, onde não existem grandes espaços para que se dispensem indicando um ambiente *indoor*.

Usando esta informação montamos uma escala de classificação para a média e para a variância, logo após ambas são combinadas obtendo-se, assim, a classificação final

do ambiente onde o ponto de acesso está instalado. A Tabela 3.6 mostra os níveis de classificação para a média e a Tabela 3.7 mostra os níveis de classificação para a variância.

μ_{RSSI}	Classificação
$\mu_{rssi} \geq -10$	1
$-32 \leq \mu_{rssi} \leq -10$	2
$-63 \leq \mu_{rssi} \leq -32$	3
$-96 \leq \mu_{rssi} \leq -64$	4
$\mu_{rssi} \leq -96$	5

Tabela 3.6: Classificação dos pontos de acesso segundo a média de *RSSI*

Intervalo de Classificação	Classificação
$\sigma_{rssi} \leq 3$	1
$3 \leq \sigma_{rssi} \leq 59$	2
$59 \leq \sigma_{rssi} \leq 115$	3
$115 \leq \sigma_{rssi} \leq 171$	4
$\sigma_{rssi} \geq 172$	5

Tabela 3.7: Classificação dos pontos de acesso segundo a variância do *RSSI*

A Figura 3.7 mostra como são combinados os níveis de média e variância para formar uma matriz de classificação. Pontos de acesso com a combinação de média e variância menores ou igual a oito são classificados com *indoor*, pontos de acesso com classificação maior que oito são classificados como *outdoor*.

		Média				
		1	2	3	4	5
V a r i â n c i a	1	2	3	4	5	6
	2	3	4	5	6	7
	3	4	5	6	7	8
	4	5	6	7	8	9
	5	6	7	8	9	10

Figura 3.7: Classificação final Média + Variância

Para exemplificar vamos supor que um ponto de acesso a_i tenha $\sigma_{rssi} = 120$ e $\mu_{rssi} = -35$. Neste caso a classificação da média seria igual a 3 e a classificação da variância seria igual a 4. Combinando-se média e variância sua classificação final seria igual a 7, resultando em um ambiente de instalação *indoor*. A Figura 3.8 mostra este processo.

		Média				
		1	2	3	4	5
V a r i â n c i a	1	2	3	4	5	6
	2	3	4	5	6	7
	3	4	5	6	7	8
	4	5	6	7	8	9
	5	6	7	8	9	10

Figura 3.8: Exemplo da classificação final Média + Variância

Após inúmeros testes com uma topologia de rede onde o ambiente em que os pontos de acesso estão instalados é conhecido, a estratégia proposta de classificação baseada nos dados de medição se mostrou uma alternativa viável à visita aos locais onde o ponto de acesso está instalado.

Nesta etapa também é realizado o ranqueamento dos pontos de acesso de acordo com o número de conexões, onde o ponto de acesso com maior número de conexões recebe classificação 1, o ponto de acesso com o segundo maior número de conexões recebe classificação 2 e, assim, sucessivamente até o último ponto de acesso da rede. Este critério será considerado para redução de potência.

3.5.4 Etapa 5 - Otimização de Canais

Sendo a sobreposição de canais a principal causadora de interferência em uma rede e tendo em mente que existe um número limitado de canais disponíveis para utilização, a sua distribuição de forma eficiente em uma rede é muito importante, pois quanto mais distantes estiverem os canais menor a interferência.

De posse das informações coletadas na Etapa 1, mais especificamente do posicionamento dos pontos de acesso, um grafo de interferência $G = (V, E)$ é calculado. Os vértices V do grafo representam os pontos de acesso e as arestas E representam a interferência existente entre os pontos de acesso.

Com base no grafo de interferência uma função custo simplificada foi definida, e posteriormente utilizada para encontrar a melhor alocação de canais através de otimização. A equação 3.18 mostra a função custo utilizada neste trabalho.

$$f(c) = \sum_{c_{ij} \in E} \frac{1}{1 + |c_i - c_j|}, \quad (3.18)$$

onde c_{ij} representa a aresta entre o nó i e o nó j , c_i o canal utilizado pelo nó i e c_j o canal

utilizado pelo nó j . Com esta função é possível calcular um custo para cada alocação de canais utilizada na rede. Tomando como exemplo o grafo de interferência mostrado na Figura 3.9, onde existem 3 pontos de acesso $A = \{a_1, a_2, a_3\}$ configurados respectivamente nos canais $C = \{c_3, c_7, c_{11}\}$. Para este exemplo teríamos o custo global da rede igual a 0,4.



Figura 3.9: Topologia de exemplo para função custo.

Esta função foi implementada no software Mathematica o qual disponibiliza métodos de otimização global onde foi possível obter a alocação de canais com menor custo para uma WLAN.

3.5.5 Etapa 6 - Otimização de Potências

A sobreposição da área de cobertura dos pontos de acesso em uma rede é uma das causas da existência de interferência em uma rede, a criação de mecanismos que minimizem este problema são de fundamental importância para o bom desempenho. Em [9] é proposto o mapeamento do ambiente onde os pontos de acesso serão instalados encontrando assim o melhor posicionamento para que a sobreposição das áreas de cobertura seja reduzida, esta técnica se mostra eficiente mas apresenta alguns problemas pois em redes já em funcionamento sua aplicação se torna inviável, além disto locais indicados pelo mapeamento prévio podem não ser viáveis para instalação de pontos de acesso devido a falta de estrutura.

Uma alternativa ao mapeamento e seleção prévia do local para instalação é o gerenciamento da potência de transmissão utilizada pelos pontos de acesso. Esta estratégia pode ser aplicada tanto a redes já implementadas sem a necessidade de alterações de sua topologia como na fase de planejamento de uma nova rede possibilitando que locais inadequados para instalação de pontos de acesso sejam evitados.

Foi desenvolvido um método para gerenciamento das potências de transmissão baseado no conhecimento prévio da rede obtido na coleta de dados realizado na Etapa 1. Partimos da premissa que em locais onde existe um grande número de pontos de acesso próximos suas áreas de cobertura tendem a se sobreporem, aumentando assim a interferência.

A redução da potência destes pontos de acesso faria com que suas áreas de cobertura fossem reduzidas diminuindo sua sobreposição e consequentemente reduzindo a interferência.

Outro fator considerado no momento da redução da potência foi a quantidade de conexões feitas aos pontos de acesso, aqueles com número médio de conexões baixo são candidatos mais fortes a redução de potência, pois se pensarmos globalmente a redução da área de cobertura causada pela diminuição da potência de transmissão seria percebida por um número menor de usuários.

Por fim o ambiente de instalação do ponto de acesso também foi considerado, como discutido na Etapa 3. Pontos de acesso *indoor* tendem a ter seus clientes localizados mais próximos, isso minimizaria o problema causado pela redução da área de cobertura. Pontos de acesso *outdoor* tem seus clientes localizados a distâncias maiores, isso dificulta a redução de potência, pois clientes mais afastados do ponto de acesso serão prejudicados pela redução da área de cobertura.

Para redução da potência baseado no posicionamento dos pontos de acesso foi calculada a distância entre um ponto de acesso $a_i \in A$ e todos os demais pontos de acesso presente na rede. Com base na localização de seu vizinho mais próximo ocorreu a redução da potência. A Tabela 3.8 mostra as distâncias de referência para redução de potência.

Distância para o vizinho mais próximo em Metros	Nível de potência
20	8dBm
40	11dBm
80	17dBm
100	20dBm

Tabela 3.8: Potência atribuída ao ponto de acesso.

A distância entre os pontos de acesso e a potência de transmissão foram obtidas através de testes realizados na rede da UTFPR - Câmpus Francisco Beltrão, a topologia da rede e suas principais características serão discutidas no capítulo de resultados. Para estes testes foram posicionados computadores em diversos pontos da rede, cada computador estava executando o software Inssider o qual mostra a intensidade do sinal recebido de todos os pontos de acesso nas imediações. A rede então foi reconfigurada com diversas potências de transmissões diferentes até o ponto em que a interferência causada pelos pontos de acesso vizinhos fosse minimizada ao máximo sem que a área de cobertura fosse fortemente afetada.

Pontos de acesso com número baixo de conexões tiveram seu nível de potência reduzido em 3dBm. Foram selecionados os 20% dos pontos de acesso menos utilizados para ter sua potência reduzida.

O ambiente onde o ponto de acesso se encontra foi utilizado para que pontos de acesso classificados como *outdoor* tivessem uma redução de potência menor, não sendo

aplicado nestes a redução baseada em número de conexões, somente foi considerada a distância para seus vizinhos mais próximos.

É importante ressaltar que independente do número de conexões ou o ambiente onde o ponto de acesso se encontra a redução baseada em distância foi executada. A proximidade dos pontos de acesso permite esta redução sem prejuízo à área de cobertura e conseqüentemente sem afetar de forma negativa seus clientes.

Outro ponto importante é que nenhum ponto de acesso teve sua potência reduzida abaixo de **8dBm**, pois nos testes práticos foi possível verificar que abaixo deste limiar a área de cobertura oferecida pelo ponto de acesso torna-se muito pequena.

Após a otimização de canal e reduções de potência um novo cálculo de interferência é realizado com as novas configurações obtidas.

3.5.6 Algoritmo

Abaixo apresentamos o pseudo código de cada uma das etapas . A Etapa 3, avaliação de desempenho, não está presente no algoritmo, ela é realizada pelo usuário baseando-se nos gráficos de CDF e PDF gerados na Etapa 2.

-
- 1: Parâmetros:
 - 2: $A = \{a_1, a_2, \dots, a_N\}$: Conjunto de pontos de acesso.
 - 3: $P = \{p_1, p_2, \dots, p_K\}$: Conjunto de potências disponíveis para os pontos de acesso.
 - 4: $C = \{c_1, c_2, \dots, c_M\}$: Conjunto de canais alocados para os pontos de acesso.
 - 5: $L = \{l_1, l_2, \dots, l_R\}$: Conjunto da localização dos pontos de acesso.
 - 6:
 - 7: ETAPA 1
 - 8: $\forall a_i \in A$: Coletar dados dos pontos de acesso.
 - 9:
 - 10: ETAPA 2
 - 11: $\forall a_i$, Calcular TP_i , $TP_i = \{tp_{xy}^i, 1 \leq x, y \leq n\}$
 - 12: $\forall a_i$, Calcular TPR_i , $TPR_i = \{tpr_{xy}^i, 1 \leq x, y \leq n\}$
 - 13:
 - 14: ETAPA 4
 - 15: $\forall a_i$, Calcular média e variância RSSI.
 - 16: $\forall a_i$, Classificar ambiente de instalação dos pontos de acesso automaticamente.
 - 17:
 - 18: ETAPA 5
 - 19: Montar grafo de interferência $G = (V, E)$
 - 20: Elaboração da função custo $f(c) = \sum_{e_{ij} \in E} \frac{1}{1+|c_i-c_j|}$
 - 21: $C \leftarrow f(c)$
 - 22:
 - 23: ETAPA 6
 - 24: $\forall a_i \in A$ Reduzir potência baseado em distância, ambiente de instalação e número de clientes conectados.
-

Capítulo 4

Resultados

4.1 Introdução

Neste capítulo apresentamos os cenários e resultados dos testes realizados com o algoritmo proposto. Detalharemos a topologia física e também os parâmetros utilizados para as simulações. Baseados em informações coletadas e topologia de dois Câmpus da UTFPR realizaremos os testes de nosso algoritmo.

Visando corroborar os resultados obtidos nas simulações, parte da rede da UTFPR Câmpus Francisco Beltrão foi reconfigurada seguindo os valores obtidos na otimização de canais e potências realizadas na fase de simulações.

4.2 Pontos de Acesso

Ambas as redes que foram usadas como base para configuração dos cenários de teste estão equipadas com roteadores sem fio da marca Cisco[®] modelo Aironet 3500 [6]. Apresentamos suas principais características para o padrão IEEE802.11n, operando em 2,4GHz. Embora este modelo de AP suporte os padrões IEEE802.11a/b/g, optamos pela operação no modo IEEE802.11n. Estes equipamentos implementam os padrões IEEE802.11h e IEEE802.11d, além dos padrões de segurança IEEE 802.11i, IEE 802.11x, *advanced encryption standards* (AES) e *temporal key integrity protocol* (TKIP).

As características mais relevantes para este trabalho são:

- Conjunto de 8 níveis de potência expressas em dBm. $P = \{-1, 2, 5, 8, 11, 14, 17, 20\}$.
- Conjunto de 11 canais, $C = \{1, 2, \dots, 11\}$.
- Ganho da antena para transmissão e recepção: 4 dBi

- Gerenciamento centralizado permitindo coleta de dados dos pontos de acesso e seus clientes, através dos protocolos de gerência IEEE 802.11k [2].

4.3 Definição dos Cenários e Parâmetros

O primeiro cenário utilizado para as simulações é baseado na topologia física e dados coletados da UTFPR Câmpus Francisco Beltrão (CFB). Sua topologia física compreende uma área de $640000m^2$. Para este cenário especificamos um grid de dimensões 800×800 para cada um dos TPs, o que equivale a um espaçamento de 1 por 1 metros para cada *tp*. Este espaçamento nos permite um posicionamento mais preciso dos pontos de acesso. Neste espaço estão dispostos vinte e quatro pontos de acesso, posicionados conforme a figura 4.1.

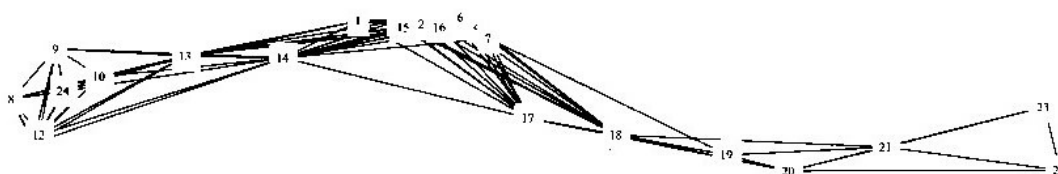


Figura 4.1: Topologia da WLAN no Câmpus de Francisco Beltrão.

Uma das peculiaridades do cenário *CFB* é a grande área e pequeno número de pontos de acesso. Para que toda a área fosse atendida pela rede sem fio seria necessário que cada ponto de acesso cobrisse uma área de aproximadamente $26000m^2$. Isto se deve ao fato das construções serem esparsas com grandes espaços abertos onde não existe a cobertura da rede sem fio.

Utilizam a rede aproximadamente 460 alunos e 90 servidores totalizando aproximadamente 550 usuários [19]. Os dados utilizados para simulação foram coletados em um período de 73 dias, este é o intervalo máximo de dias que foi possível gerar relatórios. A Figura 4.2 mostra a média de conexões realizadas diariamente em cada um dos pontos de acesso durante o período de coleta. Nos 73 dias em que os dados foram coletados houveram um total de 5.174 conexões totalizando uma média diária global de 70,87 conexões.

O segundo cenário utilizado para as simulações é baseado na topologia física e dados coletados da UTFPR Câmpus Pato Branco (CPB). Sua topologia física abrange uma área de $160000m^2$ formando um grid de 400×400 para cada um dos *TPs*. Neste espaço estão dispostos 67 pontos de acesso que estão posicionados conforme a Figura 4.4.

Diferentemente do cenário *CFB* não existem grandes espaços sem cobertura e os pontos de acesso estão dispostos mais próximos uns dos outros, podemos confirmar isto, pois a densidade de pontos de acesso é muito superior a encontrada em Francisco Beltrão.

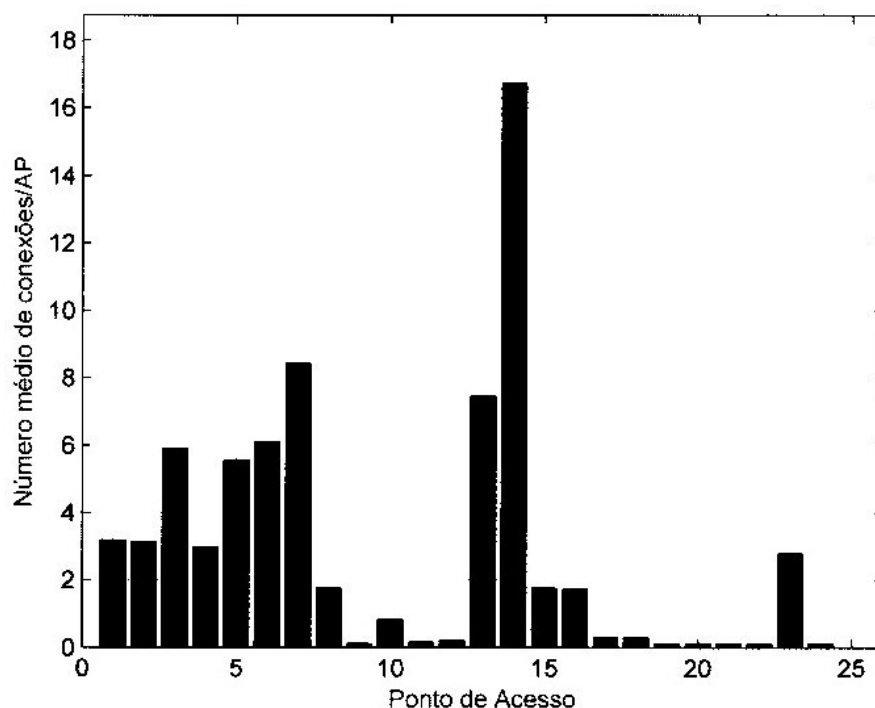


Figura 4.2: Média diária de conexões por ponto de acesso

Em uma área com metade do tamanho de *CFB* temos quase 3 vezes mais pontos de acesso.

No Câmpus Pato Branco existem aproximadamente 2.948 alunos e 200 servidores o que resulta em aproximadamente 3.148 usuários [19], número significativamente maior que os encontrados em Francisco Beltrão. Nesta rede foi possível a coleta de dados por somente 2 dias, pois foi atingido o limite de registros retornados pela ferramenta de gerência em seus relatórios. A figura 4.3 mostra a média diária de conexões por ponto de acesso. No período da coleta de dados ocorreram 12.408 conexões resultando em uma média diária global de 6.204 conexões.

Os números e características apresentados pelos dois cenários se mostram totalmente distintos, isto possibilitará testar a eficiência do algoritmo proposto em condições totalmente diferentes, uma com os pontos de acesso esparsos e um número de conexões relativamente baixo e outro com uma densidade maior de pontos de acesso e uma grande quantidade de conexões.

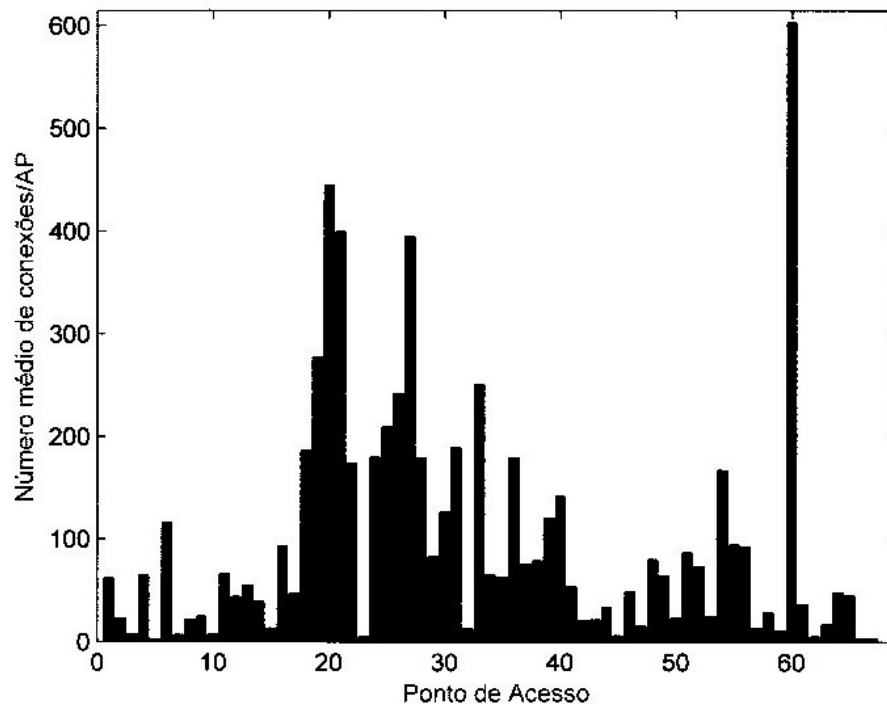


Figura 4.3: Média diária de conexões por ponto de acesso

4.4 Simulações

Para realização das simulações em ambos os cenários, CFB e CPB, foram considerados 4 configurações de teste (*CT*) distintas para alocação de canais e potência.

A primeira configuração de teste (*CT1*) foi criada para que a rede apresentasse a pior configuração possível dentro do escopo deste trabalho, onde todos os pontos de acesso utilizam o mesmo canal e a potência de transmissão máxima permitida pelo ponto de acesso. Ela será utilizada como referência para as demais configurações realizadas.

A segunda configuração de teste (*CT2*) utiliza canais adjacentes porém com grande sobreposição, esta configuração mostra o efeito da configuração de canais adjacentes em uma rede.

A terceira configuração de teste (*CT3*) utiliza somente a configuração otimizada de canais, mostrando a melhora da interferência existente na rede e demonstrando a importância de gerência de canais eficiente.

A quarta configuração de teste (*CT4*) utiliza a configuração otimizada de canais aliada à técnica de redução de potência. Assim é possível demonstrar que a técnica de redução de potência aliada à otimização de canais possibilita um ganho de qualidade do sinal percebido pelos clientes e a redução da interferência.

Abaixo são detalhados os parâmetros usados em cada uma das quatro configurações

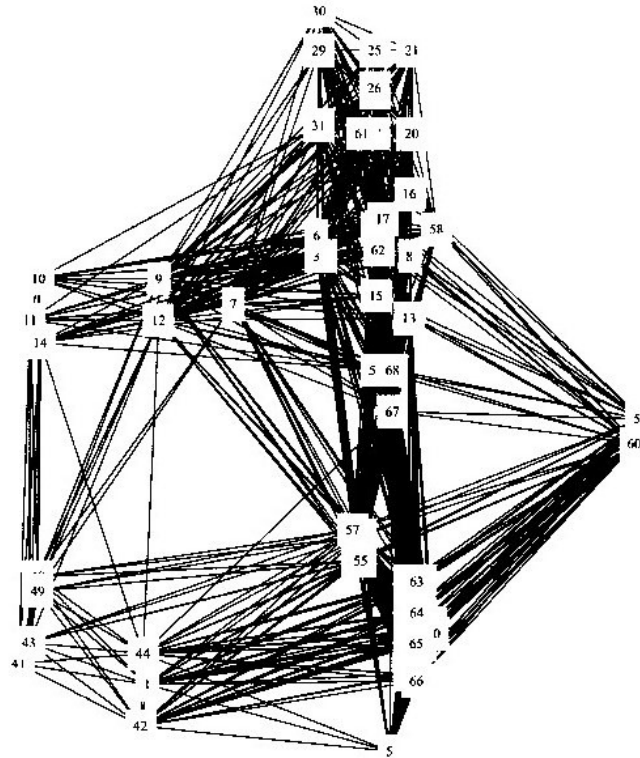


Figura 4.4: Topologia da WLAN no Campus de Pato Branco.

de teste.

- CT1 - para todos os pontos de acesso a_i temos $c_i = 1$ e $p_i = -20\text{dBm}$.
- CT2 - pontos de acesso a_i configurados em canais adjacentes indicados na Equação 4.1 e potência de transmissão máxima $p_i = -20\text{dBm}$.

$$C_{CT2} = \begin{cases} c_1 = c_4 = c_7 = \dots = 1 \\ c_2 = c_5 = c_8 = \dots = 2 \\ c_3 = c_6 = c_9 = \dots = 3 \end{cases} \quad (4.1)$$

- CT3 - pontos de acesso a_i com a configuração otimizada de canais e potência de transmissão máxima $p_i = -20\text{dBm}$. A configuração de canais utilizada para o cenário FCB pode ser vista na Tabela 4.1 e para o cenário CPB na Tabela 4.2
- CT4 - pontos de acesso com configuração otimizada de canais e potência. Os canais utilizados são os mesmos da configuração CT3. As potências de transmissão utilizadas para o FCB são apresentadas da tabela 4.3 e para o cenário CPB na Tabela 4.4

Ponto de acesso a_i	Canal c_i	Ponto de acesso a_i	Canal c_i
a_1	11	a_{13}	4
a_2	6	a_{14}	9
a_3	4	a_{15}	1
a_4	11	a_{16}	9
a_5	1	a_{17}	6
a_6	7	a_{18}	4
a_7	1	a_{19}	2
a_8	1	a_{20}	6
a_9	9	a_{21}	1
a_{10}	11	a_{22}	4
a_{11}	7	a_{23}	11
a_{12}	11	a_{24}	2

Tabela 4.1: Alocação de canais otimizada para os pontos de acesso do cenário CFB.

Ponto de acesso a_i	Canal c_i	Ponto de acesso a_i	Canal c_i	Ponto de acesso a_i	Canal c_i
a_1	11	a_{23}	8	a_{45}	4
a_2	1	a_{24}	1	a_{46}	3
a_3	9	a_{25}	4	a_{47}	5
a_4	1	a_{26}	10	a_{48}	11
a_5	5	a_{27}	2	a_{49}	10
a_6	4	a_{28}	6	a_{50}	1
a_7	3	a_{29}	11	a_{51}	1
a_8	3	a_{30}	1	a_{52}	4
a_9	8	a_{31}	1	a_{53}	3
a_{10}	6	a_{32}	11	a_{54}	8
a_{11}	1	a_{33}	11	a_{55}	1
a_{12}	7	a_{34}	11	a_{56}	10
a_{13}	7	a_{35}	6	a_{57}	1
a_{14}	11	a_{36}	3	a_{58}	2
a_{15}	7	a_{37}	1	a_{59}	7
a_{16}	2	a_{38}	2	a_{60}	11
a_{17}	10	a_{39}	6	a_{61}	4
a_{18}	7	a_{40}	1	a_{62}	7
a_{19}	5	a_{41}	2	a_{63}	1
a_{20}	9	a_{42}	8	a_{64}	9
a_{21}	3	a_{43}	3		
a_{22}	11	a_{44}	9		

Tabela 4.2: Alocação de canais otimizada para os pontos de acesso do cenário CPB.

Ponto de acesso a_i	Potência p_i	Ponto de acesso a_i	Potência p_i
a_1	11	a_{13}	17
a_2	8	a_{14}	8
a_3	8	a_{15}	8
a_4	8	a_{16}	17
a_5	8	a_{17}	17
a_6	8	a_{18}	11
a_7	8	a_{19}	11
a_8	8	a_{20}	17
a_9	8	a_{21}	11
a_{10}	8	a_{22}	11
a_{11}	8	a_{23}	11
a_{12}	17	a_{24}	8

Tabela 4.3: Alocação de potências otimizada para os pontos de acesso do cenário CFB.

Ponto de acesso a_i	Potência p_i	Ponto de acesso a_i	Potência p_i	Ponto de acesso a_i	Potência p_i
a_1	8	a_{23}	8	a_{45}	8
a_2	8	a_{24}	8	a_{46}	8
a_3	8	a_{25}	8	a_{47}	8
a_4	8	a_{26}	8	a_{48}	8
a_5	11	a_{27}	8	a_{49}	8
a_6	8	a_{28}	8	a_{50}	8
a_7	11	a_{29}	8	a_{51}	8
a_8	8	a_{30}	8	a_{52}	8
a_9	8	a_{31}	8	a_{53}	8
a_{10}	8	a_{32}	8	a_{54}	8
a_{11}	8	a_{33}	8	a_{55}	8
a_{12}	8	a_{34}	8	a_{56}	8
a_{13}	8	a_{35}	8	a_{57}	8
a_{14}	8	a_{36}	8	a_{58}	8
a_{15}	8	a_{37}	8	a_{59}	8
a_{16}	8	a_{38}	8	a_{60}	8
a_{17}	8	a_{39}	8	a_{61}	8
a_{18}	8	a_{40}	8	a_{62}	8
a_{19}	8	a_{41}	8	a_{63}	8
a_{20}	8	a_{42}	8	a_{64}	8
a_{21}	8	a_{43}	8		
a_{22}	8	a_{44}	8		

Tabela 4.4: Alocação de potência otimizada para os pontos de acesso do cenário CPB.

Analisaremos os resultados apresentados para cada uma das configurações de testes de ambos os cenários. Usaremos como métrica para análise dos resultados os gráficos da PDF e da CDF para os valores gerados de interferência e SIR na rede. Em cada um dos $tp_{xy}^i \in TP_i$ de todos os pontos de acesso foram calculadas a interferência exercida pelo restante da rede e também o relação entre o entre o sinal do ponto de acesso e sinal interferente (SIR). As medidas de interferência mostram a redução do sinal recebido nos tp_{xy}^i com potência suficientemente alta para causar interferência. Com os valores de SIR é possível verificar se a potência de serviço é maior que a potência interferente ou a interferência supera o sinal de serviço e desta forma mensurar a melhora na qualidade do sinal recebido mesmo ainda existindo interferência na área de cobertura.

Os resultados para o cenário CFB são apresentados nas Figuras 4.5, 4.6, 4.7, 4.8, 4.9 e 4.10. Na Figura 4.5 é apresentada a CDF da interferência das simulações realizadas para CFB, observando os quatro casos de teste. É possível observar a diminuição gradual da interferência a medida que partindo do cenário de teste CT1 o qual representa a pior configuração em nossos testes, até chegar ao cenário de teste CT4 onde otimizações na alocação de canais e reduções de potência foram realizadas. Usando como exemplo para as análises o valor de interferência de -80dBm a Tabela 4.5 mostra a probabilidade de um $tp_{xy}^i \in TP_i$ apresentar sinal interferente menor ou igual ao valor de referência.

CT1	CT2	CT3	CT4
78%	81%	90%	93%

Tabela 4.5: Probabilidade de interferência ser menor ou igual a -80dBm

Podemos observar nas Figuras 4.6 e 4.7 os gráficos da PDF da interferência onde é possível verificar a redução da interferência. Na Tabela 4.6 podemos ver a média e a variância da interferência apresentada em cada um dos cenários de teste, a medida que os canais são otimizados e a potência é reduzida o valor médio de interferência é reduzido mostrando melhora na qualidade do sinal existente na rede. Também ocorre a redução da variância mostrando que um número maior de tp_s tem a potência interferente próximo ao valor médio.

Cenário	Média	Variância
CT1	-93.4897	352.7964
CT2	-94.5252	338.0235
CT3	-101.5475	242.6715
CT4	-102.9811	225.9421

Tabela 4.6: Média em dBm e variância da interferência presente em cada um dos cenários.

Na Figura 4.8 podemos observar na CDF do SIR a probabilidade do sinal inter-

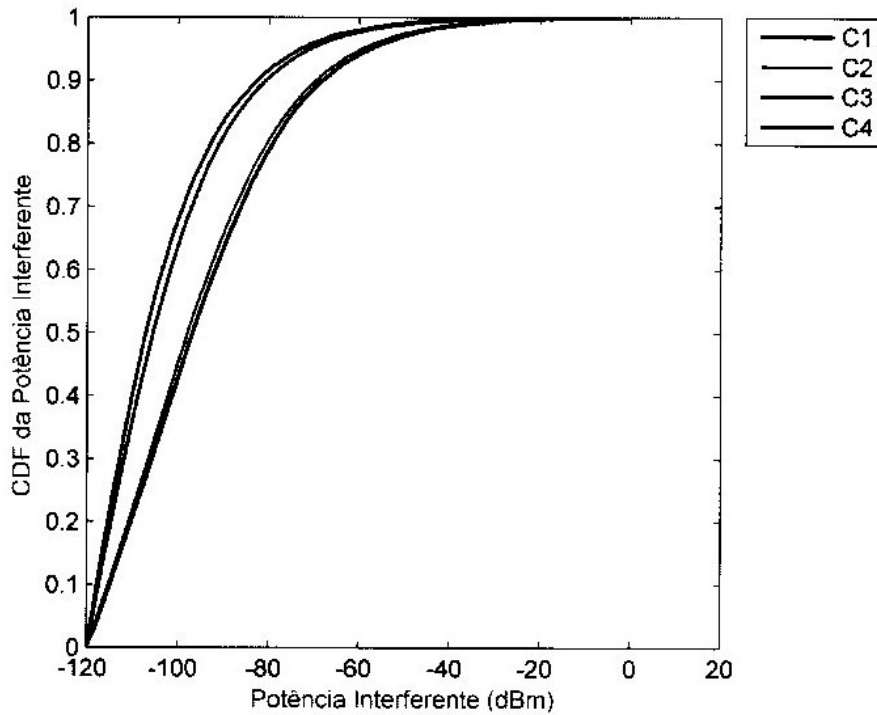


Figura 4.5: CDF - Interferência Câmpus Francisco Beltrão

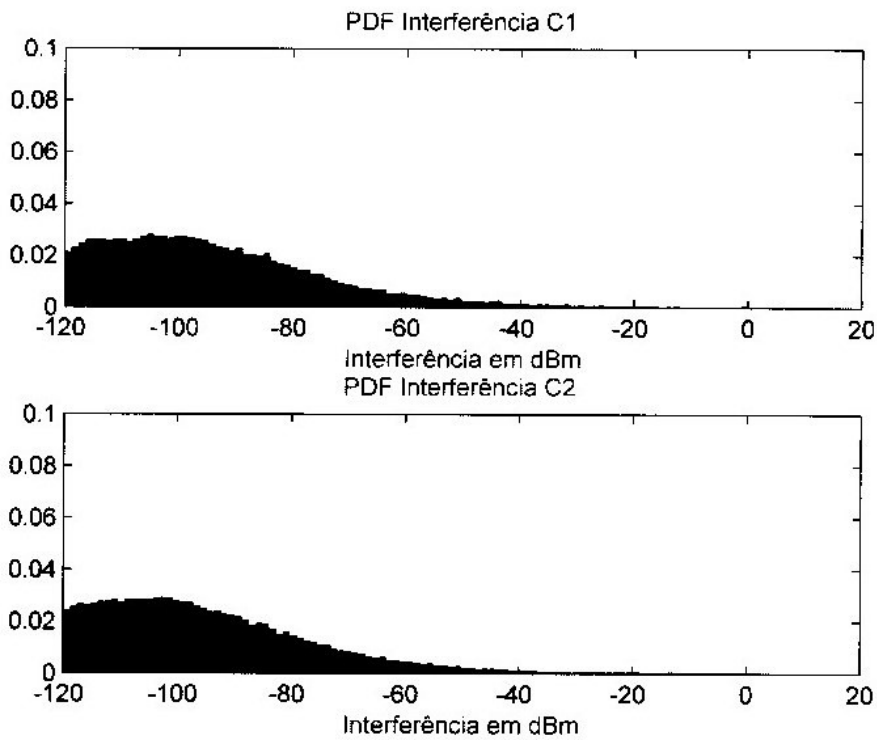


Figura 4.6: PDF - Interferência cenários CT1 e CT2 para Câmpus Francisco Beltrão.

ferente ter potência superior ao sinal de serviço. Valores negativos indicam que o sinal interferente tem potência maior que o sinal de serviço. A Tabela 4.7 mostra a probabilidade do SIR ser menor ou igual a zero em um $tp_{xy}^i \in TP_i$ para as quatro configurações de

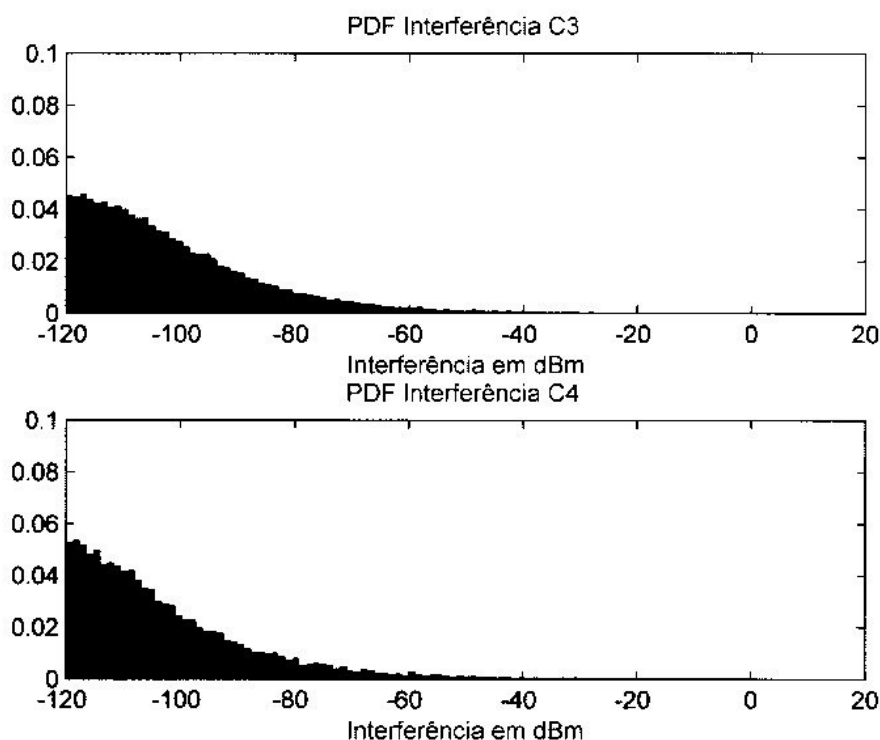


Figura 4.7: PDF - Interferência cenários CT3 e CT4 para Câmpus Francisco Beltrão.

teste.

CT1	CT2	CT3	CT4
50%	47%	20%	12%

Tabela 4.7: Probabilidade do SIR ser menor ou igual a 0dBm.

A Tabela 4.8 mostra um aumento da média do SIR demonstrando que o sinal de sinal efetivo de serviço é maior que o sinal interferente, consequentemente a qualidade do serviço oferecido aos clientes é melhor.

Comparando as configurações de teste CT3 onde ocorreu somente a otimização de canais e CT4 onde ocorreram otimizações de canais e potência fica claro que a otimização de canais tem grande impacto para a diminuição da interferência e a redução de potência tem como principal contribuição a melhora na qualidade do sinal nos $tp_{xy}^i \in TP_i$. Embora o número de tp_{xy}^i que sofrem interferência não tenha sofrido uma redução tão expressiva quanto a observada na otimização de canais, os tp_{xy}^i que apresentam interferência tiveram o nível de sinal interferente bastante reduzido, propiciando assim uma melhora no desempenho da rede.

Os resultados para o cenário CPB são apresentados nas Figuras 4.11, 4.12, 4.13, 4.14, 4.15 e 4.16. Como esperado a redução da interferência foi menor pois este cenário apresenta número maior de pontos de acesso concentrados em uma área menor. Na

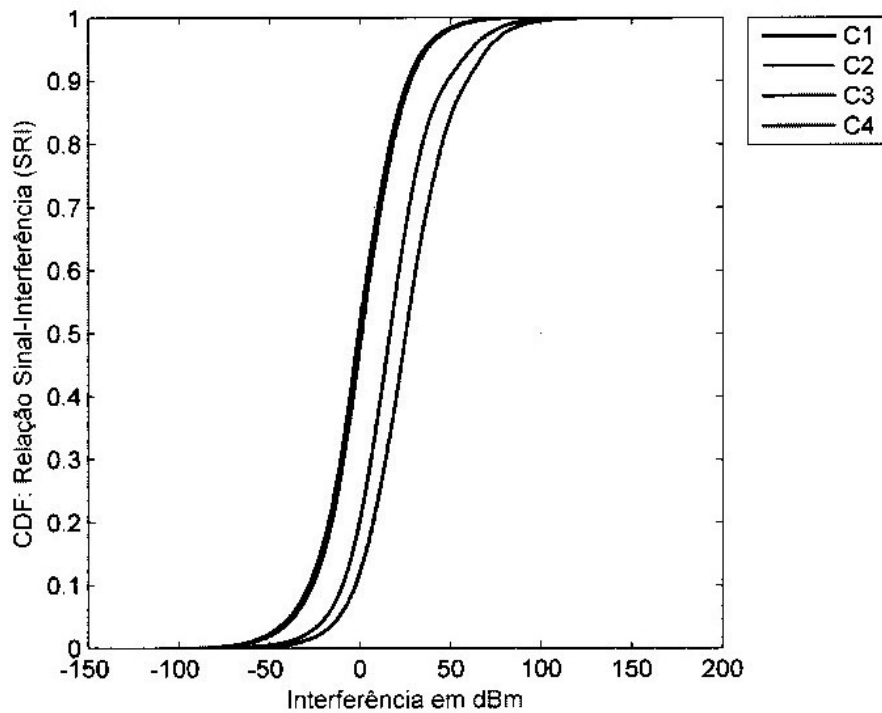


Figura 4.8: CDF da Relação Sinal-Interferência (SIR) Câmpus Francisco Beltrão

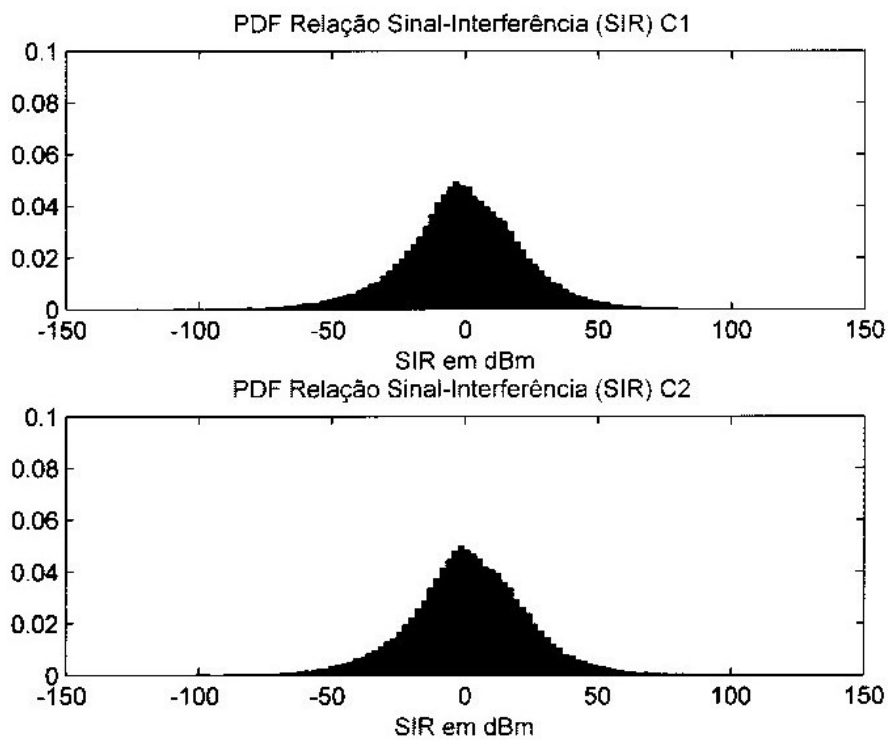


Figura 4.9: PDF - Relação Sinal-Interferência (SIR) Câmpus Francisco Beltrão

Figura 4.11 podemos observar a probabilidade de existir interferência menor ou igual a um determinado patamar. Usaremos como exemplo o valor de -80dBm , o mesmo usado para o cenário CFB. A tabela 4.9 mostra a possibilidade do valor de interferência ser

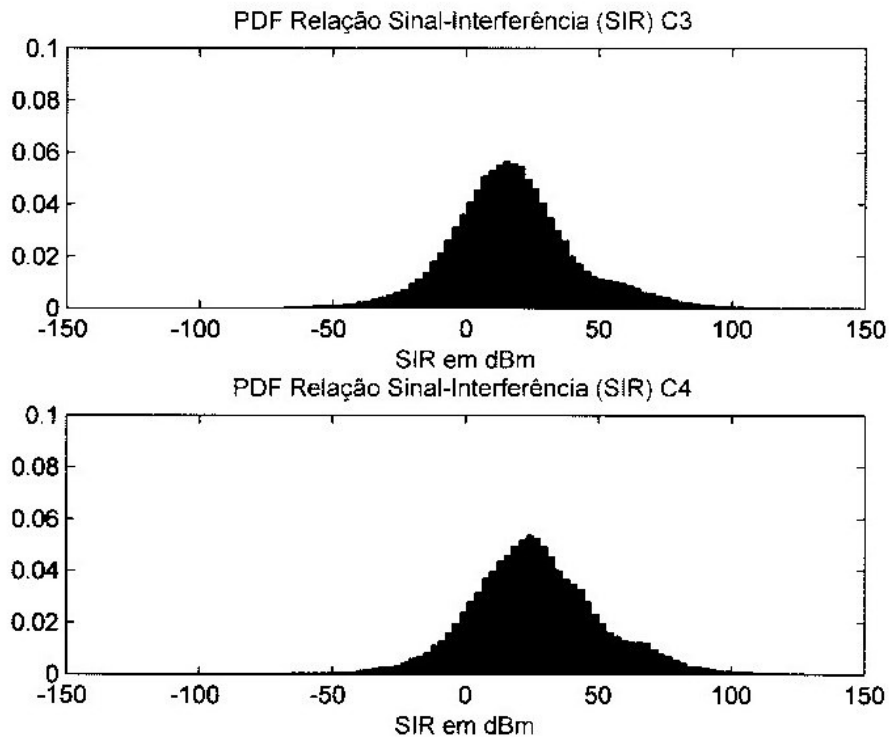


Figura 4.10: PDF - Relação Sinal-Interferência (SIR) Câmpus Francisco Beltrão

Cenário	Média	Variância
CT1	-0.6979	513.7071
CT2	1.3	512.0017
CT3	17.5696	579.8779
CT4	26.4852	620.6973

Tabela 4.8: Média em dBm e variância do SIR presente em cada um dos cenários.

menor ou igual ao valor de referência.

CT1	CT2	CT3	CT4
70%	71%	79%	82%

Tabela 4.9: Probabilidade de interferência ser menor ou igual a -80dBm

A PDF da interferência nas Figuras 4.12 e 4.13 mostra a redução da interferência porém com médias mais altas que as apresentadas no cenário CFB onde a rede tem uma densidade menor de pontos de acesso. Na Tabela 4.10 podemos observar as médias apresentadas no cenário CPB.

Na Figura 4.14 podemos observar a probabilidade do sinal interferente ter potência superior ao sinal de serviço. A Tabela 4.11 mostra a probabilidade do SIR ser menor ou igual a zero em um $tp_{xy}^i \in TP_i$ para os quatro configurações de teste.

As Tabelas 4.12 e 4.13 mostram a diferença de desempenho do algoritmo nos dois

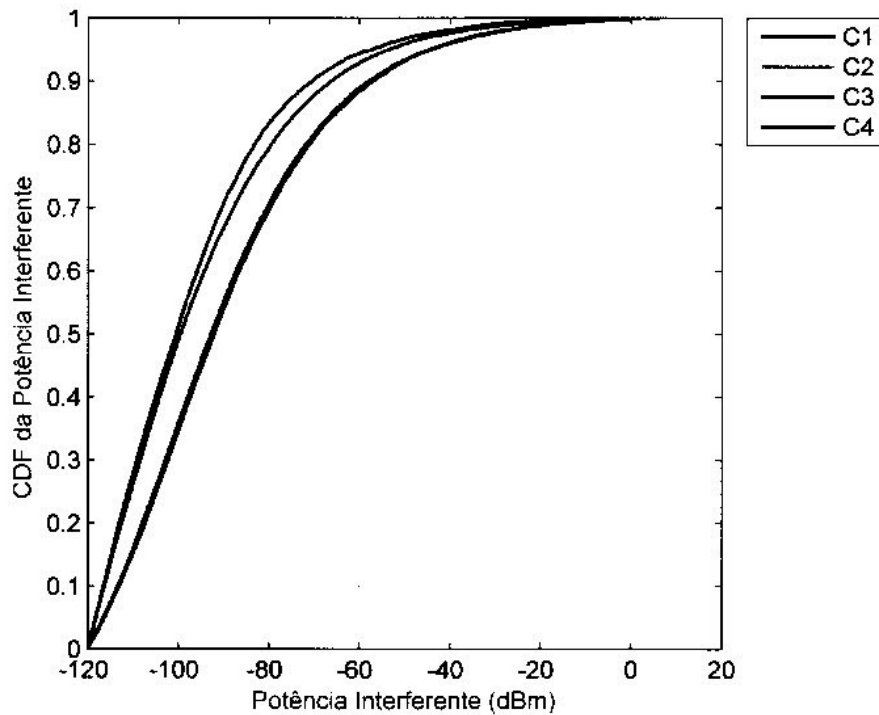


Figura 4.11: CDF - Interferência Câmpus Pato Branco

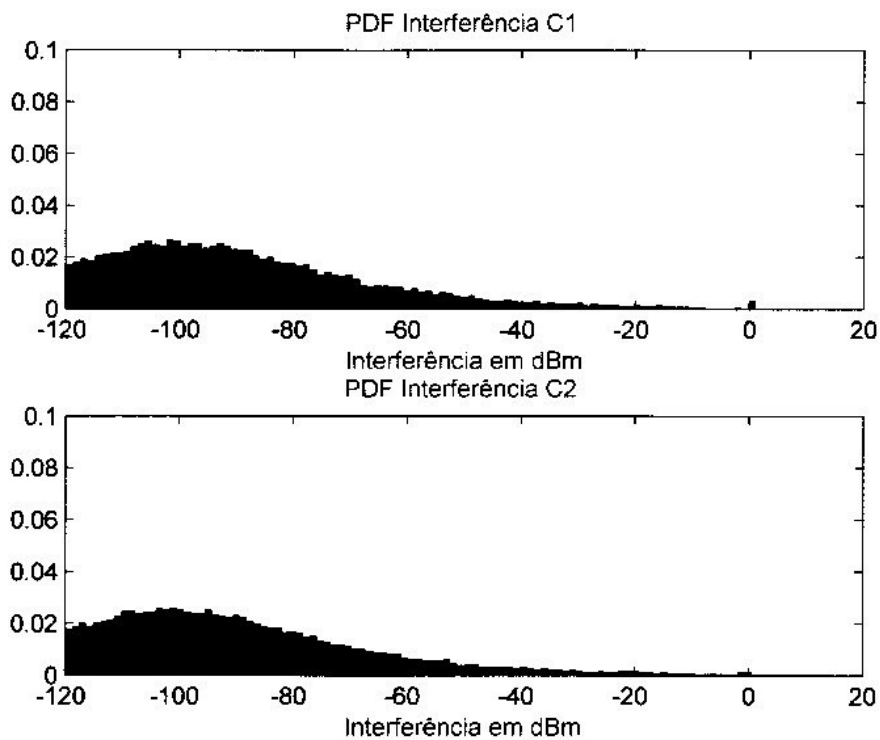


Figura 4.12: PDF - Interferência Câmpus Pato Branco

cenários de teste. Nesta comparação conseguimos perceber o efeito que a densidade de pontos de acesso em uma rede causam sobre a interferência e conseqüentemente em seu desempenho. Redes com maior densidade de pontos de acesso apresentam níveis maiores

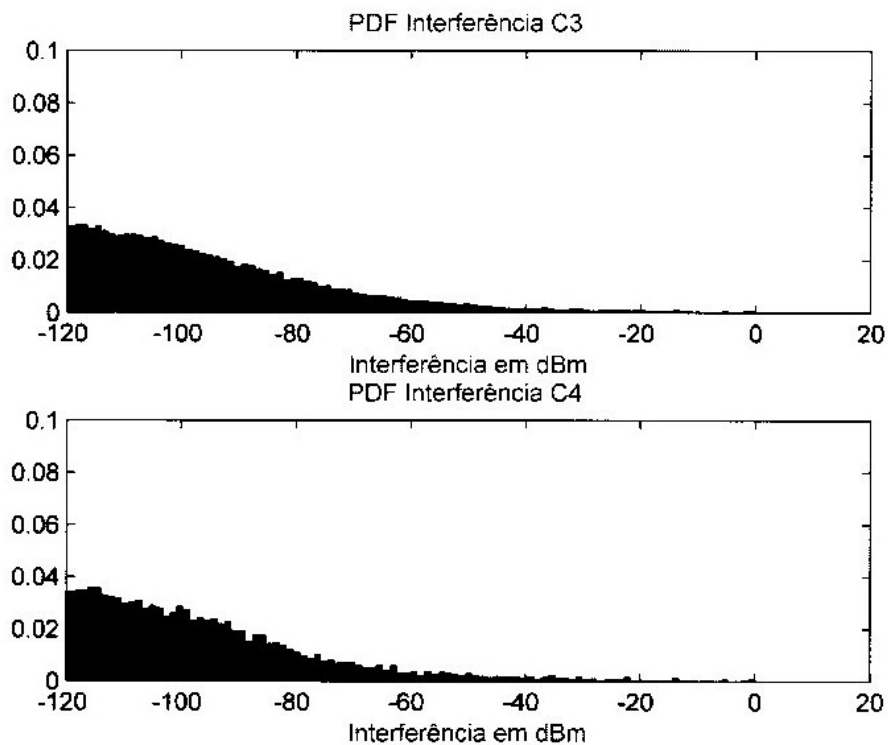


Figura 4.13: PDF - Intêrferência Câmpus Pato Branco

Cenário	Média	Variância
CT1	-87.9970	504.5248
CT2	-88.6748	494.3562
CT3	-94.5502	430.5503
CT4	-96.3641	376.9068

Tabela 4.10: Média em dBm e variância da interferência presente em cada um dos cenários.

CT1	CT2	CT3	CT4
49%	48%	25%	18%

Tabela 4.11: Probabilidade do SIR ser menor ou igual a zero.

de interferência e uma eficiência menor das técnicas de redução de potência e alocação de canais.

Cenário	CT1	CT2	CT3	CT4
CFB	78%	81%	90%	93%
CPB	70%	71%	79%	82%

Tabela 4.12: Comparativo entre CFB e CPB da probabilidade de interferência ser menor ou igual a -80dBm

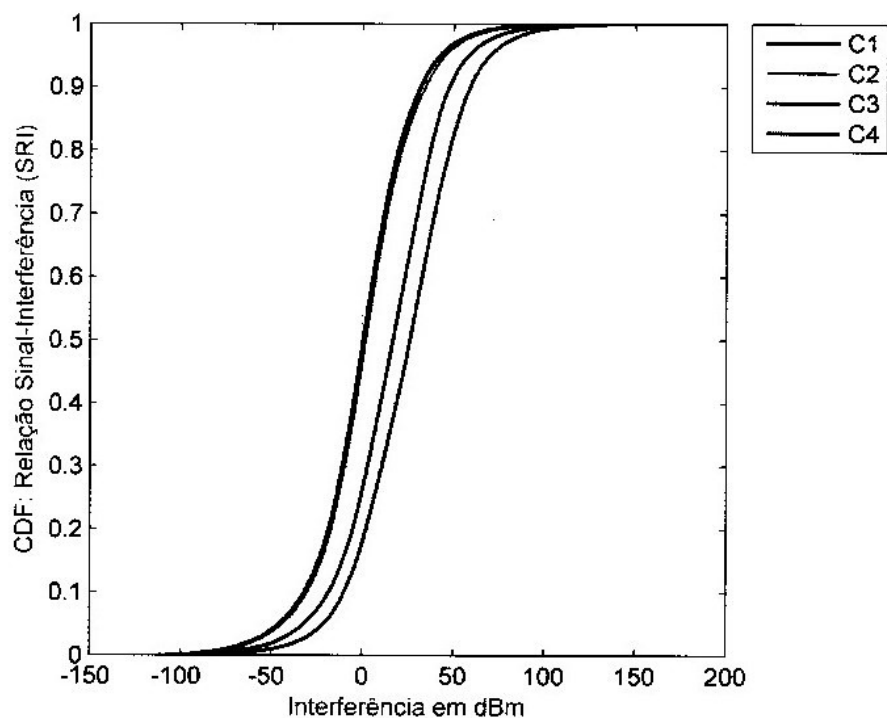


Figura 4.14: CDF - Relação Sinal-Interferência (SIR) Câmpus Pato Branco

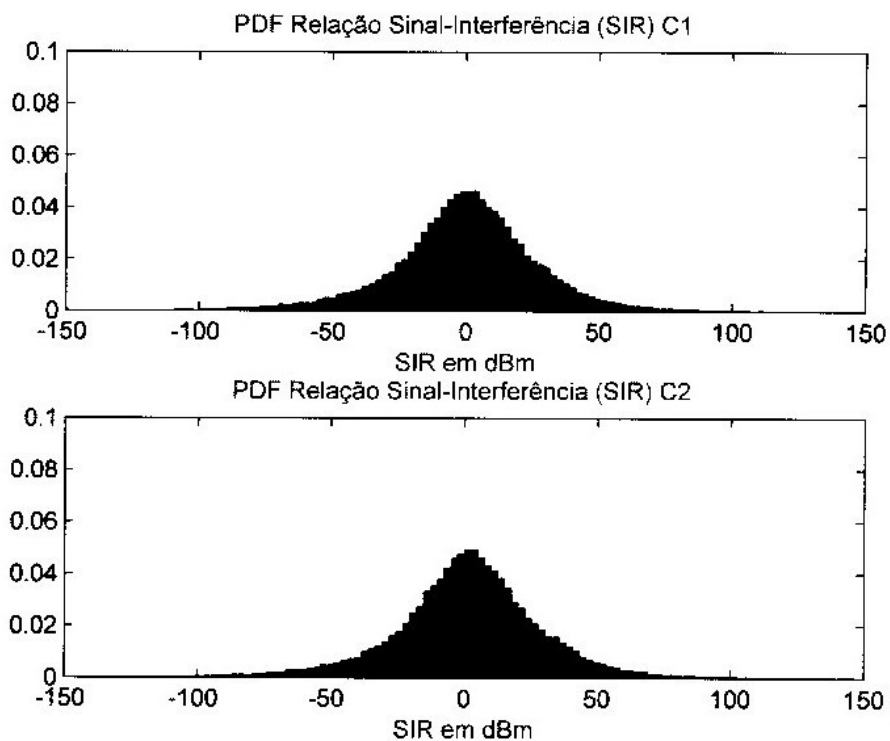


Figura 4.15: PDF - Relação Sinal-Interferência (SIR) Câmpus Pato Branco

4.5 Testes Práticos

Após a fase de simulações parte da rede do Campus Francisco Beltrão foi selecionada para realização de experimentos práticos baseados nos resultados obtidos. A Tabela

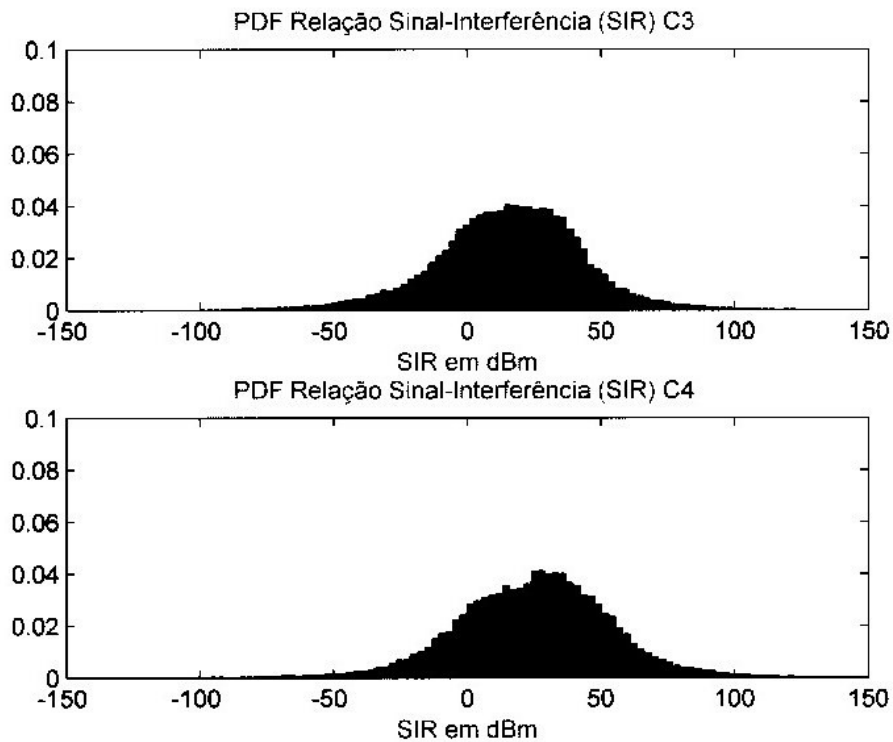


Figura 4.16: PDF - Relação Sinal-Interferência (SIR) Câmpus Pato Branco

Cenário	CT1	CT2	CT3	CT4
CFB	50%	47%	20%	12%
CPB	49%	48%	25%	18%

Tabela 4.13: Comparativo entre CFB e CPB da probabilidade do SIR ser menor ou igual a zero.

4.15 apresenta os pontos de acesso selecionados para os testes, seu posicionamento, bem como as configurações de canal e potência utilizada. Este trecho da rede foi selecionado devido a proximidade física entre os pontos de acesso. Na figura 4.17 podemos ver em destaque os pontos de acesso utilizados para os testes. Outro fator que motivou a escolha destes pontos de acesso foi a média de conexões diárias. Este conjunto de pontos de acesso apresenta a maior média de conexões da rede, sendo possível observar a interferência de forma mais efetiva entre eles.

Durante a fase de simulações foram utilizados quatro configurações de teste (CT). Para os testes práticos os mesmos CTs serão usados.

Para a realização dos testes alguns procedimentos foram adotados visando manter a coerência dos resultados entre as diferentes configurações utilizadas:

- Todos os testes foram realizados em horários em que a rede tem uma taxa de utilização semelhante, sendo evitados períodos onde a rede está inativa.

- Para os testes foram usados 3 computadores, sendo que todos os testes foram feitos sem que o posicionamento dos computadores fosse alterado.
- Um arquivo com tamanho de 1.07GB foi hospedado em um servidor conectado a rede cabeada do Câmpus. Este arquivo foi utilizado para os testes de desempenho.
- Em todos os testes o arquivo foi copiado simultaneamente para os 3 computadores. Durante a cópia do arquivo todos os pacotes destinados a interface sem fio do computador foram capturados.

O posicionamento dos computadores utilizados para os testes foi feito de forma com que eles se conectem a pontos de acesso diferentes, porém que causassem interferência entre si. Ao posicionar os computadores nos *TPs* teríamos aproximadamente as posições mostradas na Tabela 4.14. Utilizando a ferramenta fornecida pelo fabricante dos pontos de acesso foi possível constatar que os computadores se conectaram a pontos de acesso distintos conforme desejado.

Computador	Posição X	Posição Y
1	106	354
2	106	400
3	106	434

Tabela 4.14: Posicionamento dos computadores utilizados durante os testes.

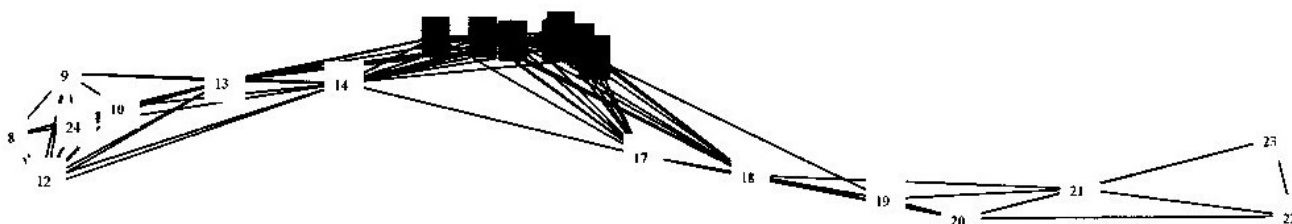


Figura 4.17: Pontos de acesso utilizados para os testes práticos

A Tabela 4.15 mostra as configurações usadas em cada um dos cenários de teste bem como a localização dos pontos de acesso mostrando sua proximidade.

A Figura 4.18 sintetiza os resultados obtidos na transferência do arquivo, mostrando throughput médio em cada uma das transferências. É possível verificar uma melhora no throughput a cada mudança de configuração. Este aumento no throughput é proporcional a redução na interferência mostrada na fase de simulações.

A configuração *C1* representa o pior caso possível onde todos os pontos de acesso estão operando no mesmo canal e com potência máxima. Esta configuração obteve o menor throughput entre os testes. Assim como nas simulações a medida que os canais

AP	Posição		CT1		CT2		CT3		CT4	
	X	Y	Canal	Ptx	Canal	Ptx	Canal	Ptx	Canal	Ptx
AP1	108	354	1	20	1	20	2	20	2	11
AP2	106	393	1	20	2	20	8	20	8	8
AP3	106	415	1	20	3	20	1	20	1	8
AP4	104	427	1	20	1	20	11	20	11	8
AP5	108	378	1	20	2	20	10	20	10	8
AP6	110	417	1	20	3	20	6	20	6	8
AP7	97	434	1	20	1	20	7	20	7	8

Tabela 4.15: Posicionamento e parâmetros configurados nos pontos de acesso para os testes práticos

foram sendo espaçados o throughput apresentou melhoras significativas, porém o melhor desempenho é obtido quando combinamos a otimização de canais aliada a otimização de potências. Quando as duas técnicas são empregadas ocorreu uma melhora de 57,8% em relação ao teste realizado somente com a otimização de canais. Se comparado ao teste *C1*, ou seja, o pior caso nos cenários de teste, ocorreu um aumento de 144,52% no throughput da rede.

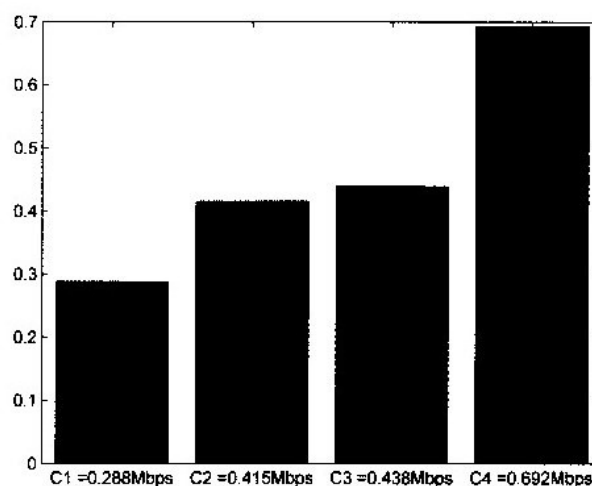


Figura 4.18: Resultados obtidos em testes práticos

Capítulo 5

Conclusões e Trabalhos Futuros

Neste trabalho estudamos os efeitos que a interferência causa em uma WLAN e buscamos maneiras de amenizar este problema. Propomos um método híbrido que contemple as facilidades encontradas nos métodos analíticos onde novas configurações e cenários podem ser testados facilmente e os benefícios oriundos da coleta de informações da rede a qual nos mostra um estado mais realista da rede.

Após as simulações fica comprovado que emprego de métodos analíticos aliado a coleta de dados é uma alternativa viável, e pode ser empregado principalmente em redes onde existe uma gerência centralizada pois a coleta das informações e reconfiguração da rede se torna mais simples.

Realizando simulações e implementações práticas dos resultados obtidos pudemos comprovar a melhora de desempenho provando a viabilidade do método, mais estudos e novos testes práticos são necessários para refinar os resultados, porém a junção de coleta de dados com modelos analíticos de propagação de sinal e composição da interferência existente na rede se mostram uma boa alternativa para minimizar a interferência na rede.

5.1 Trabalhos Futuros

No decorrer dos trabalhos e analisando os resultados obtidos foram identificados alguns trabalhos adicionais os quais poderiam contribuir para um melhor desempenho de nossa proposta:

- Estudo de outros critérios para redução de potência incluindo o tráfego de informações da rede privilegiando pontos de acesso onde exista mais atividade.
- Investigar métodos de classificação do ambiente onde o ponto de acesso esta instalado de forma mais precisa, classificando os ambientes *indoor* em diferentes sub-categorias

permitindo a aplicação de políticas de redução de potência diferenciadas para cada um dos ambientes.

- Realização de mais experimentos práticos de forma mais extensiva e em diferentes topologias.
- Refinamento do algoritmo para representar mais fielmente o posicionamento dos pontos de acesso na rede, permitindo por exemplo a representação de um ambiente com múltiplos pavimentos.
- Refinar o método de otimização de canais buscando uma alocação mais eficiente.

Referências Bibliográficas

- [1] Ieee standard for information technology-telecommunications and information exchange between systems local and metropolitan area networks-specific requirements part 11: Wireless lan medium access control (mac) and physical layer (phy) specifications ame. *IEEE Standard for Information technology-Telecommunications and information exchange between systems Local and metropolitan area networks Specific requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Ame.*
- [2] Ieee standard for information technology local and metropolitan area networks-specific requirements- part 11: Wireless lan medium access control (mac)and physical layer (phy) specifications amendment 1: Radio resource measurement of wireless lans. *IEEE Std 802.11k-2008 (Amendment to IEEE Std 802.11-2007)*, pages 1–244, 2008.
- [3] K. Avrachenkov, M. El Chamie, and G. Neglia. A local average consensus algorithm for wireless sensor networks. In *Distributed Computing in Sensor Systems and Workshops (DCOSS), 2011 International Conference on*, pages 1–6, 2011.
- [4] K. Briggs and M. Tijmes. Optimal channel allocation for wireless cities. In *Vehicular Technology Conference, 2009. VTC Spring 2009. IEEE 69th*, pages 1–5, 2009.
- [5] J.K. Chen, G. de Veciana, and T.S. Rappaport. Site-specific knowledge and interference measurement for improving frequency allocations in wireless networks. *Vehicular Technology, IEEE Transactions on*, 58(5):2366–2377, 2009.
- [6] Cisco. Cisco aironet 3500 series access point. *cisco*.
- [7] Cisco. Cisco wireless control system. <http://www.cisco.com/en/US/products/ps6305/index.html> Agosto 7, 2013.
- [8] Daniel B. Faria. Modeling signal attenuation in ieee 802.11wireless lans - vol. 1. *Computer Science Department Stanford University*.

- [9] Youngsok Lee, Kyoungae Kim, and Yanghee Choi. Optimization of ap placement and channel assignment in wireless lans. In *Local Computer Networks, 2002. Proceedings. LCN 2002. 27th Annual IEEE Conference on*, pages 831–836, 2002.
- [10] K.K. Leung and B.-J. Kim. Frequency assignment for ieee 802.11 wireless networks. In *Vehicular Technology Conference, 2003. VTC 2003-Fall. 2003 IEEE 58th*, volume 3, pages 1422–1426 Vol.3, 2003.
- [11] Yongqiang Liu, W. Wu, Bo Wang, Tao He, Su Yi, and Yong Xia. Measurement-based channel management in wlans. In *Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), 2010 IEEE*, pages 1–6, 2010.
- [12] A. Mishra, V. Brik, S. Banerjee, A. Srinivasan, and W. Arbaugh. A client-driven approach for channel management in wireless lans. In *INFOCOM 2006. 25th IEEE International Conference on Computer Communications. Proceedings*, pages 1–12, 2006.
- [13] Arunesh Mishra, Suman Banerjee, and William Arbaugh. Weighted coloring based channel assignment for wlans. *SIGMOBILE Mob. Comput. Commun. Rev.*, 9(3):19–31, July 2005.
- [14] Arunesh Mishra, Vivek Shrivastava, Dheeraj Agrawal, Suman Banerjee, and Sanrat Ganguly. Distributed channel management in uncoordinated wireless environments. In *Proceedings of the 12th annual international conference on Mobile computing and networking, MobiCom '06*, pages 170–181, New York, NY, USA, 2006. ACM.
- [15] L. T. Monteiro. Distributed channel allocation algorithms for access point based return channel in idtv. *PUC*, 2012.
- [16] T. Rappaport. *Wireless Communications: Principles and Practice*. Prentice Hall PTR, 2nd edition, January 2001.
- [17] S. P. Silvana. *Distributed Consensus Algorithms for Wireless Sensor Networks - Convergence Analysis and Optimization*. PhD thesis, Universitat Politècnica de Catalunya, 2011.
- [18] I. Siomina and Di Yuan. Optimization of channel assignment and access point transmit power for minimizing contention in wireless lans. In *Modeling and Optimization in Mobile, Ad Hoc and Wireless Networks and Workshops, 2007. WiOpt 2007. 5th International Symposium on*, pages 1–10, 2007.

- [19] UTFPR. Número de matrículas regulares nos cursos da utfpr no segundo semestre de 2011 @ONLINE. June 2012.
- [20] Xiaonan Yue, Chi-Fai Wong, and S.-H.G. Chan. Cacao: Distributed client-assisted channel assignment optimization for uncoordinated wlans. *Parallel and Distributed Systems, IEEE Transactions on*, 22(9):1433–1440, 2011.