

Eric Douglas Teixeira

UMA ANÁLISE EXPERIMENTAL DE ALOCAÇÃO DE CANAL  
PARA REDES SEM FIO 802.11

Florianópolis – SC  
2010

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA  
COMPUTAÇÃO

Eric Douglas Teixeira

UMA ANÁLISE EXPERIMENTAL DE ALOCAÇÃO DE CANAL  
PARA REDES SEM FIO 802.11

Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos  
requisitos para a obtenção do grau de Mestre em Ciência da Computação

Carlos Becker Westphall  
Orientador

Florianópolis, Janeiro/2010

## AGRADECIMENTO

Agradeço a meu professor orientador Dr. Carlos Becker Westphall e a professora Dr. Carla Merkle Westphall pela confiança e disposição em me auxiliar neste período de pesquisa e desenvolvimento do meu trabalho.

Agradeço ao grupo de pesquisa de Redes Cognitivas, integrados pelo professor Dr. Carlos B. Westphall, Rafael Mendes e Everton R. Garcia, pelos preciosas idéias e auxílio na elaboração da minha dissertação.

Agradeço a compressão e auxílio dos meus pais, família e amigos por esse tempo de ausência me dedicando ao desenvolvimento do meu trabalho. Não posso deixar de destacar o apoio concedido pelo meu irmão Paulo Leonel Teixeira, me auxiliando com dicas e levando as documentações do mestrado até a universidade, quando eu estava impossibilitado de fazer.

À minha amiga e chefe, Sandra Mara Pierini, pelo companheirismo, dando-me tranqüilidade e tempo para terminar o meu mestrado e sua ajuda incondicional, relendo proativamente a minha dissertação quando eu já, de tanto escrever, não conseguia mais visualizar os pontos do trabalho que deveriam ser melhorados.

Agradeço também a secretária Vera Lúcia Sodré Teixeira, por todo o apoio e auxílio desde o início. Sem ela a minha caminhada teria sido mais árdua.

Agradeço aos meus colegas de mestrado Hans Alberto Franke e Rafael Bosse Brinhosa por toda a consideração, me auxiliando com dicas e informações, o que facilitou o andamento do meu trabalho.

## RESUMO

As redes IEEE 802.11, por operarem em uma faixa de frequência não licenciada, enfrentam interferências de diversos dispositivos e de outras redes. Tendo isto em vista, somado ao aumento da adoção das tecnologias sem fio, necessitou-se um método eficaz de análise da qualidade do sinal, possibilitando a escolha do melhor canal. Objetivando solucionar o problema, este trabalho apresenta um método de análise da vazão dos canais baseado no histórico de desempenho destes. O trabalho procura projetar, em um futuro próximo, o canal que possibilite uma vazão elevada e estável. Este trabalho se propôs a desenvolver uma solução independente dos clientes e sem a necessidade de comunicação entre pontos de acesso. Tendo em vista que toda comunicação, em uma rede infra-estruturada, é feita através do ponto de acesso, analisou-se então a qualidade do sinal próximo ao ponto de acesso. Uma área que afeta a todos os clientes da rede.

Palavras-chave: alocação de canal, IEEE 802.11.

## SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO .....	13
1.1 - DEFINIÇÃO DO PROBLEMA E PROPOSTA.....	13
1.2 - JUSTIFICATIVA E TRABALHOS RELACIONADOS.....	15
1.3 - OBJETIVO GERAL.....	19
1.4 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	19
1.5 - ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	19
2 - ALOCAÇÃO DE CANAL EM REDES IEEE 802.11 .....	20
2.1 - CANAL.....	20
2.1.1 - Distribuições de Canais.....	20
2.1.2 - Sobreposição da Largura de Banda.....	22
2.1.3 - Configuração Padrão.....	22
2.2 - NORMAS DE UTILIZAÇÃO POR REGIÃO .....	22
2.3 - EMISSORES DE SINAIS DE RÁDIO FREQUÊNCIA.....	23
2.4 - TRÁFEGO DE DADOS .....	23
2.5 - INTERFERÊNCIA DINÂMICA.....	23
2.6 - POTÊNCIA DE SINAL.....	24
2.7 - TOPOLOGIA DE REDE .....	24
3 - UMA ANÁLISE EXPERIMENTAL DE ALOCAÇÃO DE CANAL PARA REDES SEM FIO 802.11 .....	25
3.1 - INTRODUÇÃO.....	25
3.1.1 - Estrutura Física .....	25
3.1.2 - Estrutura Lógica.....	26
3.2 - ANÁLISE DE CANAL.....	27
3.2.1 - Intervalo de Coleta.....	27
3.2.2 - Mudança da Localização do Ponto de Acesso .....	27
3.2.3 - Sincronismo de Coleta .....	28
3.2.4 - Comunicação entre Redes Sem Fio.....	28
3.3 - SELEÇÃO DE CANAL.....	28
3.3.1 - Período de Tempo .....	28
3.3.2 - Adaptação ao Tempo .....	29
3.3.3 - Melhor Vazão.....	29
3.4 - ALOCAÇÃO DE CANAL.....	30
3.4.1 - Ausência de Clientes .....	30
3.4.2 - Reinicialização Manual do Ponto de Acesso.....	30
3.4.3 - Ausência ou Baixo Tráfego de Dados .....	31
3.4.4 - Priorização de Máquinas .....	31
3.4.5 - Outras considerações .....	31
4 - EXPERIMENTOS E ANÁLISES.....	32
4.1 - INTRODUÇÃO.....	32

4.2 - AMBIENTE DE EXPERIMENTO .....	32
4.2.1 - Disposição dos Equipamentos.....	33
4.2.2 - Especificação dos Equipamentos .....	33
4.2.2.1 - Cliente <i>FTP</i> .....	33
4.2.2.2 - Servidor <i>FTP</i> .....	34
4.2.2.3 - Ponto de Acesso .....	34
4.2.3 - Coleta de Dados de Vazão .....	35
4.3 - EXPERIMENTOS E ANÁLISES .....	36
4.3.1 - Análise.....	39
4.3.2 - Seleção.....	42
4.4 - LIMITAÇÕES DA PESQUISA .....	45
5 - CONCLUSÃO .....	47
5.1 - PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES.....	47
5.2 - TRABALHOS FUTUROS.....	47
5.2.1 - Sistema de Alocação de Canal .....	47
5.2.1.1 - Mudança da Localização do Ponto de Acesso.....	48
5.2.1.2 - Sincronismo de Coleta.....	48
5.2.1.3 - Comunicação entre Redes Sem Fio .....	48
5.2.1.4 - Múltiplas Antenas para Mudança de Canal.....	49
5.2.1.5 - Auto-regeneração .....	49
5.2.1.6 - Sistema de Localização de Clientes.....	50
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	51
APÊNDICE.....	55

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Largura de banda dos canais no padrão IEEE 802.11b/g.....	22
Figura 2 – Estrutura Física .....	26
Figura 3 – Disposição dos Equipamentos .....	33
Figura 4 – Quantidade de redes operando em cada um dos canais.....	37
Figura 5 – Quantidade de redes operando nos canais 6 e 11. ....	38
Figura 6 – Quantidade de redes operando nos canais 4, 5, 7 e 10. ....	38
Figura 7 – Vazão Média dos Canais.....	39
Figura 8 – Vazão de todos os canais .....	40
Figura 9 – Comparação entre canais 3 e 10, com respectivamente a menor e a maior média de vazão. ....	40
Figura 10 – Vazão do canal 2.....	41
Figura 11 – Vazão do canal 4.....	41
Figura 12 – Desvio Padrão dos canais.....	42
Figura 13 – Vazão Média dos Canais no Período do Dia.....	43
Figura 14 – Vazão Média dos Canais no Período Matutino.....	43
Figura 15 – Vazão Média dos Canais 3, 8 e 11 no Período do Dia. ....	44
Figura 16 – Vazão dos Canais 3, 8 e 11. ....	44
Figura 17 – Nota dada ao canal baseado na vazão e no desvio padrão. ..	45
Figura 18 – Vazão do Canal 1 .....	56
Figura 19 – Vazão do Canal 2 .....	56
Figura 20 – Vazão do Canal 3 .....	57
Figura 21 – Vazão do Canal 4.....	57
Figura 22 – Vazão do Canal 5 .....	58
Figura 23 – Vazão do Canal 6 .....	58
Figura 24 – Vazão do Canal 7 .....	59
Figura 25 – Vazão do Canal 8 .....	59
Figura 26 – Vazão do Canal 9 .....	60
Figura 27 – Vazão do Canal 10.....	60
Figura 28 – Vazão do Canal 11 .....	61
Figura 29 – Quantidade de Redes IEEE 802.11 operando no Canal 1 ....	62
Figura 30 – Quantidade de Redes IEEE 802.11 operando no Canal 2 ....	62
Figura 31 – Quantidade de Redes IEEE 802.11 operando no Canal 3 ....	63
Figura 32 – Quantidade de Redes IEEE 802.11 operando no Canal 4 ....	63
Figura 33 – Quantidade de Redes IEEE 802.11 operando no Canal 5 ....	64
Figura 34 – Quantidade de Redes IEEE 802.11 operando no Canal 6 ....	64
Figura 35 – Quantidade de Redes IEEE 802.11 operando no Canal 7 ....	65
Figura 36 – Quantidade de Redes IEEE 802.11 operando no Canal 8 ....	65

Figura 37 – Quantidade de Redes IEEE 802.11 operando no Canal 9.....66  
Figura 38 – Quantidade de Redes IEEE 802.11 operando no Canal 10...66  
Figura 39 – Quantidade de Redes IEEE 802.11 operando no Canal 11...67

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Frequência Central de Operação do Padrão IEEE 802.11a/n [GHz] .....	21
Tabela 2 – Frequência Central de Operação do Padrão IEEE 802.11b/g/n [GHz] .....	21
Tabela 3 – Configurações de <i>hardware</i> e <i>software</i> do Cliente <i>FTP</i> .....	33
Tabela 4 – Configurações da Interface de Rede sem fio do Cliente <i>FTP</i>	34
Tabela 5 – Configurações de <i>hardware</i> e <i>software</i> do Servidor <i>FTP</i> .....	34
Tabela 6 – Ponto de Acesso .....	34
Tabela 7 – Configurações do Ponto de Acesso .....	34
Tabela 8 – Horário Real de Coleta de Dados de Vazão para às 08:00 horas .....	35

## LISTA DE ABREVIATURAS

IEEE - *Institute of Electrical and Electronics Engineers*  
UWB - *Ultrawideband*  
ISM - *Industrial, Scientific and Medical*  
VoIP - *Voice Over Internet Protocol*  
SNR - *Signal Noise Rate*  
ETSI - *European Telecommunications Standards Institute*  
FCC - *Federal Communications Commission*  
TELEC - *Telecom Engineering Center*  
TCP - *Transmission Control Protocol*  
SSID - *Service Set Identifier*  
NTP - *Network Time Protocol*  
SNTP - *Simple Network Time Protocol*  
pW - **Pico-watt**  
dBm - **Medida de Potência em Decibel medida em relação a 1 miliwatt.**  
FTP - *File Transfer Protocol*  
RTS - *Request to Send*  
DTIM - *Delivery Traffic Indication Message*  
CTS - *Clear to Send*  
WPA2-PSK-AES - *Wi-Fi Protected Access- Phase Shift Keying- Advanced Encryption Standard*  
PIB - **Produto Interno Bruto**  
IBGE - **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA E PROPOSTA

O crescimento no uso da rede sem fio IEEE 802.11 consolida-se, hoje, como a rede infra-estruturada mais utilizada. Este crescimento, por sua vez, gera o aumento gradativo das interferências que estas redes causam entre si, diminuindo assim drasticamente a vazão destas redes.

O padrão IEEE 802.11 não foi projetado com um mecanismo de seleção automática de canal. Dessa forma, se uma rede IEEE 802.11 estiver operando em um mesmo canal que outra rede IEEE 802.11 próxima, logo elas estarão causando interferência uma na outra, diminuindo a vazão de ambas as redes. Em resumo, redes operando em uma mesma frequência causam ruído uma na outra.

Atualmente observa-se um grande número de Pontos de Acesso IEEE 802.11 operando em determinados canais. Este fato leva em consideração a grande quantidade de pontos de acesso IEEE 802.11 vendidos com canais já previamente configurados de fábrica.

Esta configuração pré-estabelecida, por sua vez, deveria ser modificada pelo usuário assim que a rede fosse instalada, porém isto acaba não ocorrendo devido a falta de informação do usuário na relação que o canal tem com o desempenho da rede. Dessa forma, verifica-se assim a necessidade de um mecanismo eficiente de avaliação da qualidade do canal, possibilitando ao usuário um sinal de melhor qualidade.

O usuário, administrador da rede, mostra-se, hoje, muito preocupado com a criação de uma senha de acesso à rede e na proteção de sua rede contra a interceptação de dados por terceiros, porém não se apresenta consciente em relação às configurações necessárias para permitir o máximo desempenho da rede.

A escolha do canal, por sua vez, não é simples. Apesar da grande quantidade de redes operando em determinados canais – oriunda do fato dos administradores não modificarem a configuração dada em fábrica – uma distribuição igualitária de canais entre as redes é viável, mas não suficiente.

Fatores como a quantidade de redes IEEE 802.11 operando em canais adjacentes, potência do sinal e os tráfegos nas redes vizinhas influenciam fortemente no processo de decisão.

A partir destes fatores, pode-se compreender a dificuldade de escolha do melhor canal para uma rede, pois, em ambiente real, estas variáveis se modificam ao longo do tempo. Exemplo disso pode ser visto na variação do tráfego ao longo do dia nas redes IEEE 802.11 vizinhas, na decisão do vizinho em trocar a localização do ponto de acesso ou em aumentar a potência do sinal.

Além disso, pode-se citar também a influência de outros dispositivos no desempenho das redes IEEE 802.11 como *Bluetooth*, *UWB (Ultra-wide-band)*, telefones sem fios, babás eletrônicas, microondas, entre outros dispositivos.

Desta forma, uma solução de escolha de canal para as redes IEEE 802.11 não deve levar em conta somente as influências de outras redes IEEE 802.11, mas como também deve incluir os demais dispositivos na avaliação da escolha do melhor canal.

Considerando o efeito da constante mudança dos valores nas variáveis de desempenho da rede, verifica-se a impossibilidade de escolha do canal com uma única análise de uma área. A análise necessita ser feita periodicamente para que se possa obter uma adequação adaptativa da melhor escolha do canal ao longo do tempo.

A impossibilidade de permuta do canal, por sua vez, não deve ser feita durante a utilização da rede – este fato levaria a queda das conexões dos usuários da rede.

Baseado no fato do tráfego ser fator decisivo no desempenho das redes IEEE 802.11, analisou-se o histórico de vazão oferecida pelos canais em uma dada área, possibilitando a escolha do canal com uma melhor vazão, ou seja, uma maior vazão e de menor oscilação ao longo do dia.

Para isso, analisando a vazão alcançada em cada canal, criou-se uma associação entre utilização e interferência. Levando em consideração que é possível verificar padrões na topologia de rede, como distância entre pontos de acesso, canais configurados, pode-se então procurar estabelecer um padrão também do nível de interferência obtido em cada canal.

Conhecendo a faixa de frequência dos canais – definido pelo padrão utilizado: IEEE 802.11a, IEEE 802.11b, IEEE 802.11g ou IEEE 802.11n – e a quantidade de canais disponibilizada – definida pelas normas de uso da faixa de frequência ISM (*Industrial, Scientific e Medical*) de cada país – identifica-se a intensidade do sinal na faixa de frequência de cada canal.

A escolha do canal considera que o nível de interferência em um determinado canal é, na maior parte, influenciado pela intensidade

de sinais emitidos, por outras redes e dispositivos, na mesma faixa de frequência do canal.

Esta pesquisa sugere uma análise experimental de alocação de canal, possibilitando a escolha do canal com o melhor histórico de vazão, projetando assim, o canal que terá uma vazão maior e mais estável nas semanas seguintes.

## 1.2 JUSTIFICATIVA E TRABALHOS RELACIONADOS

A enorme adoção do padrão IEEE 802.11 leva a um alto nível de interferência gerado na faixa de frequências utilizada nestas redes. Este nível de interferência, por sua vez, não foi considerado no início da sua padronização, levando pesquisadores a unirem esforços a fim de melhorar este desempenho:

- (GURKAS; ZAIM; AYDIN, 2006) trata o desempenho analisando a escolha do mecanismo de segurança, onde conclui que a segurança tem baixo impacto na queda dos valores de vazão.
- (HUI; DEVETSIKIOTIS, 2006) apresenta um método analítico para análise de desempenho nas redes IEEE 802.11.
- (MAHANTI; WILLIAMSON; ARLITT; MAHANTIT, 2007) faz uma comparação entre as técnicas de medições das redes com fio e sem fio.
- (BETTA; CAPRIGLIONE; FERRIGNO; MIELE, 2007) aborda a influência das redes IEEE 802.11 nos sistemas de medição de radiofrequência.
- (CHEN; ZHANG, 2008) analisa o método de acesso RTS/CTS (*Request to Send/Clear to Send*) e a sua vazão.
- (TEIXEIRA; WESTPHALL; WESTPHALL, 2009) avalia a influência da configuração padronizada de canais no desempenho das redes IEEE 802.11.

Esta queda na vazão, devido ao aumento do nível da interferência, levou a comunidade científica a publicar artigos focando na interoperabilidade entre as redes sem fio:

- (KIM; ISMAIL; RODRIGUEZ; GONZALES, 2005) aborda uma solução para a interferência em redes *Bluetooth*.

- (BEVILACQUA; MANIERO; GEROSA; NEVIANI, 2007) trata uma solução para a interferência em redes UWB (*Ultra-wide-band*).

Houve então a necessidade do controle da interferência e do surgimento das entidades autoconfiguráveis:

- (LEUNG; KIM, 2003) aborda a gerência da interferência a partir da escolha da frequência em redes IEEE 802.11.
- (AKELLA; JUDD; SESHAN; STEENKISTE, 2005) analisa a auto-gerência da interferência em redes IEEE 802.11, avaliando a potência, a densidade de redes, a densidade de clientes e o tráfego.
- (MISHRA; BRIK; BAMERJEE; SRINVISAN; ARBAUGH, 2006) apresenta um algoritmo de seleção de canal entre Pontos de Acesso operando em uma mesma rede local, utilizando o método de coloração de grafos.
- (KAUFFMANN; BACCELLI; CHAINTEAU; MHATRE; PAPAGIANNAKI; DIOT, 2007) aborda um algoritmo de seleção de canal para Pontos de Acesso dentro de uma mesma rede.
- (DRIEBERG; ZHENG; AHMAD; OLAFSSON; FITCH, 2009) analisa a utilização de diferentes algoritmos de seleção de canal.
- (MAHTRE; PAPAGIANNAKI; BACCELLI, 2007) aborda o controle da potência como forma de controle de interferência em ambientes com alta densidade de redes IEEE 802.11.
- (MISHRA, AGRAWAL, SHRIVASTAVA, BANERJEE, GANGULY, 2006) trata a escolha automática do canal de forma distribuída, onde não requer comunicação entre os Pontos de Acesso.
- (LEITH; CLIFFORD, 2006) sugere outra abordagem para escolha do canal de forma distribuída.
- (ROZNER; MEHTA; ANELLA; QIU, 2007) trata não somente a escolha do canal, mas também a necessidade da avaliação periódica das condições do ambiente.
- (SILVA; REZENDE, 2007) apresenta um algoritmo onde se avalia as condições da interferência de forma independente, não necessitando a comunicação entre os Pontos de Acesso.
- (ATHANASIOUS; BROUTIS; KORAKIS; TASSIULAS, 2008) aborda a seleção de canal considerando a carga nos Pontos de Acesso.

Relaciona as condições do canal com o número de usuários e o tráfego.

- (YANG; LEE; SEO; KIM, 2008) aborda a utilização de múltiplos canais e a coordenação destes canais.

Mecanismos de alocação de canal foram aprimorados com a abordagem em *Machine Learning*, que se adaptavam conforme as modificações no ambiente.

- (ESLAMNOUR; ZAWODNIOK; JAGANNATHAN, 2009) aborda a troca dinâmica do canal a partir de técnicas de aprendizagem adaptativa.
- (CAO; YU; KIM; LEE, 2009) aborda a aprendizagem do comportamento dos terminais.

Uma vez repensada a alocação do canal, a adaptação às mudanças repentinas, focou-se em mecanismos que possibilitassem a troca do canal de operação de modo transparente para o usuário.

Existem diversos artigos publicados abordando métodos de troca de canal em redes centralizadas. Nestas abordagens, um administrador da rede tem todo o controle da rede, configurando os pontos de acesso para que estes operem em modo sincronizado. Estas abordagens são típicas de grandes ambientes, como hospitais, aeroportos, universidades e centros de eventos.

Em ambientes domésticos e em centros comerciais onde operam pequenas empresas, temos um ambiente onde o controle do canal de operação tende a ser distribuído. Nestes ambientes, possuímos diversos administradores de rede onde cada um opera de forma independente criando um ambiente caótico.

Existem diversos artigos publicados abordando métodos de troca de canal em redes centralizadas, mas poucos para ambientes distribuídos.

Para ambientes distribuídos temos algumas abordagens. Em (MISHRA; AGRAWAL; SHRIVASTAVA; BANERJEE; GANGULY, 2006) o ponto de acesso requisita aos clientes analisar os pacotes enviados por outros pontos de acesso próximos a área. Através desta análise, analisa o grau de interferência obtido em cada cliente da rede. Dessa forma, através de um algoritmo avaliando o grau de interferência, o número de clientes afetados e a sobreposição da largura de banda dos canais, identifica-se o melhor canal de operação. Nesta abordagem é necessário que o cliente possa se comunicar com o ponto de acesso,

informando a ele informações necessárias para a avaliação do canal. Além disso, esta abordagem analisa pacotes enviados por outras redes IEEE 802.11, sendo assim, descarta as interferências geradas por outros padrões de redes operando na mesma faixa de frequência.

Na abordagem distribuída de (LEITH; CLIFFORD, 2006) os clientes avaliam periodicamente a qualidade do canal. Enquanto a qualidade do canal for considerada aceitável, permanece-se no canal. Do contrário, migra-se para outro. Esta abordagem procura evitar interferências. Não foca na identificação do melhor canal.

Na abordagem de (SILVA; REZENDE, 2007) é requisitado pelo ponto de acesso medições nos clientes. Os clientes avaliam a interferência por compartilhamento do meio e interferência co-canal. O processo é periódico, fornecendo adaptação às mudanças no ambiente. A troca de canal é informada através de uma mensagem de *beacon*, porém exige que os clientes estejam adaptados a norma IEEE 802.11k, não oferecendo suporte a todos os clientes, podendo ocasionar quedas indesejadas nas conexões destes.

Dessa forma, sugerimos uma abordagem que ofereça independência dos clientes. Pesquisas focam, cada vez mais, na preocupação da alocação de canal, porém, mesmo sendo desenvolvidos, enfrentam o impasse da necessidade de interoperabilidade entre padrões e dispositivos antigos, com *firmwares* e *drivers* que não são mais atualizados pelos seus fabricantes.

Este trabalho propõe uma avaliação onde considera não somente a interferência entre redes IEEE 802.11, mas considera-se também o nível de interferência na camada física, diminuindo a interferência das redes IEEE 802.11 com as demais redes que atuam na faixa de frequências ISM.

Esta pesquisa propõe uma análise experimental de alocação de canal em redes sem fio IEEE 802.11 como projeto inicial para um sistema capaz de, através de análises constantes e periódicas de vazão, possa escolher seus próprios canais sem a necessidade de atualização de *software* no cliente. Todas coletas de dados e análises estarão no ponto de acesso, possibilitando a independência dos clientes.

A pesquisa foca em um mecanismo que avalia a interferência e seu histórico, prevendo seu uso futuro e trocando de canal assim que o usuário estiver com a máquina ociosa, evitando assim interrupções indesejadas nas conexões.

### 1.3 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral desse trabalho é analisar, através de experimentos, a alocação de canal para redes sem fio IEEE 802.11.

### 1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos desse trabalho são os seguintes:

- Criar e avaliar um subsistema de análise de canal para as redes IEEE 802.11.
- Criar e avaliar um subsistema de seleção de canal para as redes IEEE 802.11.
- Criar um subsistema de alocação de canal para as redes IEEE 802.11.

### 1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O trabalho está organizado da seguinte forma:

No capítulo 1 – São abordados o problema, a proposta, a justificativa, os trabalhos correlatos mais importantes, a motivação, o objetivo geral, os objetivos específicos e a organização do trabalho.

No capítulo 2 – Os pontos relevantes para a análise da interferência nos canais de operação são apresentados e discutidos.

No capítulo 3 – Apresentam-se os pontos relevantes para implementação de um sistema de análise de interferência.

No capítulo 4 – Apresenta-se a validação das idéias através de experimentos, onde se analisa a interferência e as respectivas vazões dos canais.

No capítulo 5 – Finalizando, a conclusão, as principais contribuições e os trabalhos futuros são ilustrados.

## 2 ALOCAÇÃO DE CANAL EM REDES IEEE 802.11

A alocação de canal nos padrões IEEE 802.11, hoje, é configurada pelo usuário que, por sua vez, não detêm o conhecimento dos parâmetros necessários para a avaliação do melhor canal, assim como desconhece a área de interferência em que sua rede está situada.

Além de tudo, a interferência é dinâmica. Modifica-se ao longo do dia, da semana, dos meses; o que dificulta a seleção do melhor canal.

Tendo isto em vista, é necessário estabelecer um sistema que possa analisar as interferências no local, selecionar o canal de forma dinâmica e, por fim, efetuar a troca na rede assim que possível, evitando quedas indesejadas nas conexões dos clientes.

### 2.1 CANAL

As redes IEEE 802.11, hoje, são apresentadas através dos padrões IEEE 802.11a, IEEE 802.11b, IEEE 802.11g e IEEE 802.11n. Todas elas possuem suas respectivas peculiaridades, porém baseadas no mesmo padrão.

#### 2.1.1 Distribuições de Canais

É importante salientar que os canais trabalham em frequências padronizadas. Dessa forma, não importa a marca ou o modelo do ponto de acesso, pois há um processo de padronização. Sendo assim, o canal 1 sempre utiliza a mesma frequência de operação. Não importa a marca, modelo ou o país em que ele foi fabricado.

O número de canais das redes IEEE 802.11 se difere por padrão IEEE 802.11a/b/g/n.

A tabela 1 apresenta os canais dos padrões IEEE 802.11a/n.

Tabela 1 – Frequência Central de Operação do Padrão IEEE 802.11a/n  
[GHz]

Canal	Frequência Central de Operação [GHz]
36	5,180
40	5,200
44	5,220
48	5,240
52	5,260
56	5,280
60	5,300
64	5,320
149	5,745
153	5,765
157	5,785
161	5,805

A tabela 2 apresenta os canais do padrão IEEE 802.11b/g/n:

Tabela 2 – Frequência Central de Operação do Padrão IEEE 802.11b/g/n  
[GHz]

Canal	Frequência Central de Operação [GHz]
1	2,412
2	2,417
3	2,422
4	2,427
5	2,432
6	2,437
7	2,442
8	2,447
9	2,452
10	2,457
11	2,462
12	2,467
13	2,472
14	2,484

Verifica-se, no padrão IEEE 802.11b/g/n, o maior distanciamento da frequência central de operação do canal 14 perante os demais canais. Dessa forma, diminuindo o nível de interferência sofrido neste canal.

### 2.1.2 Sobreposição da Largura de Banda

Um ponto fundamental a ser destacado é a sobreposição da largura de banda dos canais entre si. Elas se sobrepõem configurando um aumento na interferência conforme a figura 1.

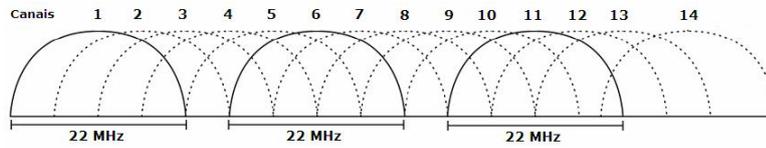


Figura 1 – Largura de banda dos canais no padrão IEEE 802.11b/g

Na figura 1, verifica-se que redes IEEE 802.11b/g vizinhas operando em canais 3, 4, 5, 7, 8 e 9 irão gerar interferência no canal 6.

Considerando os dados apresentados, verifica-se que o alto nível de interferência em um canal não depende exclusivamente da quantidade de redes IEEE 802.11b/g próximas operando em um mesmo canal, mas também da quantidade de redes IEEE 802.11b/g operando nos canais adjacentes.

### 2.1.3 Configuração Padrão

É constatado, através de *software* específico, um grande número de redes IEEE 802.11 operando no canal 6. Tende-se a fugir dos canais tipicamente chamados de canais padrão: 1, 6 e 11; muito utilizados na pré-configuração dos pontos de acesso.

A utilização de canais idênticos, frequência idênticas, é ponto crucial na queda de desempenho de qualquer rede sem fio.

## 2.2 NORMAS DE UTILIZAÇÃO POR REGIÃO

Apesar da padronização IEEE 802.11, estabelecendo normas que regulamentam a quantidade de canais e as frequências de operação para os mesmos, existem também as normas que regulamentam o uso destas frequências em cada país.

Cada país limita o uso dessas frequências, adaptando os padrões para cada país. Dado o padrão IEEE 802.11b/g com o exemplo, a *European Telecommunications Standards Institute* (ETSI), que determina as leis de uso na Europa, permite o uso dos canais de 1 ao 13.

Já nos Estados Unidos, através da *Federal Communications Commission* (FCC), o funcionamento fica limitado até o canal 11. No Japão, através do órgão *Telecom Engineering Center* (TELEC), o uso é permitido até o canal 14.

Da mesma forma, existe uma padronização da potência máxima permitida. Ainda considerando o padrão IEEE 802.11b/g como referência, nos Estados Unidos a potência máxima permitida é de 1000 mW, enquanto na Europa é de 100 mW e no Japão, 10 mW.

### 2.3 EMISSORES DE SINAIS DE RÁDIO FREQUÊNCIA

O baixo desempenho dado nas redes IEEE 802.11 não é fruto somente da crescente adoção das redes IEEE 802.11, mas sim também do crescente número da adoção de redes de outros padrões e dispositivos emissores de sinais de rádio frequência.

Dispositivos emissores de sinais de rádio frequência como redes *Bluetooth*, *UWB*, *Zigbee* e aparelhos domésticos como microondas, telefones sem fios, babás eletrônicas, são grandes empecilhos no alto desempenho das redes IEEE 802.11. Além do uso destes dispositivos, operadoras de telecomunicações utilizam a faixa de frequência ISM para oferecem seus serviços aos seus clientes.

### 2.4 TRÁFEGO DE DADOS

Uma rede vizinha com alto tráfego gera um grau de interferência maior que uma rede vizinha com baixo tráfego. O tráfego é fator essencial na geração de interferência, tanto que uma única rede com alto tráfego pode chegar a ser mais prejudicial que duas ou mais redes operando com baixo tráfego. Logo, podemos concluir que a quantidade de redes vizinhas operando em um mesmo canal, ou nos canais adjacentes, não são informações suficientes para se determinar o grau de interferência em um canal.

### 2.5 INTERFERÊNCIA DINÂMICA

O nível de interferência é dinâmico ao longo do dia.

Os tráfegos gerados pelas redes vizinhas variam ao longo do dia. Da mesma forma os dispositivos sem fio, emissores de rádio

freqüência, se apresentam em localidades distintas da rede conforme o período do dia. Em alguns momentos se encontram mais próximos a outras redes, em outros, distantes.

Além da variação do tráfego e da distância, salientam-se também as características de cada dispositivo. Dispositivos emissores de rádio freqüência, possuem características peculiares na utilização. Tomamos como exemplo a babá eletrônica. Esta poderia estar sendo utilizada somente no período noturno e, assim sendo, gerando interferência somente à noite.

Dessa forma, destaca-se a necessidade de considerar a dinâmica da interferência, analisando as variações da interferência ao longo do dia. Medições únicas não são conclusivas e levam ao erro na medição da interferência em determinada área.

## 2.6 POTÊNCIA DE SINAL

É importante destacar também a influência da potência do sinal no nível de interferência. A exemplo do tráfego, uma rede emitindo sinal com alta potência pode ser mais prejudicial a uma rede vizinha do que duas ou mais redes vizinhas emitindo sinais em baixa potência.

Um dispositivo de alta potência, além de prejudicar drasticamente as redes próximas, permite ao sinal gerado, uma distância maior de propagação do sinal. Sendo assim, dispositivos emissores de rádio freqüência, mesmo localizados a uma grande distância de outras redes, conseguem causar interferência nestas redes mais distantes.

Destaca-se também que apesar da legislação limitar o uso dessa potência, elas nem sempre são respeitadas. Além disso, dispositivos comprados no exterior, nem sempre estão no padrão de potência permitido no país em que ele será usado.

## 2.7 TOPOLOGIA DE REDE

A topologia de rede também deve ser destacada. Os clientes da rede, posicionados em diferentes pontos em uma dada área de cobertura, enfrentam distintos níveis de interferência ao longo do tempo e, a portabilidade, inerente nas redes sem fio, aumenta ainda mais a complexidade de escolha do melhor canal, visto a necessidade de se obter o melhor canal para todos os clientes da rede em toda a área de cobertura da rede.

## 3 UMA ANÁLISE EXPERIMENTAL DE ALOCAÇÃO DE CANAL PARA REDES SEM FIO 802.11

### 3.1 INTRODUÇÃO

A escolha do melhor canal é de difícil análise. Além das características variarem ao longo do dia, interferências distintas são sentidas em cada um dos clientes da rede.

Um canal considerável aceitável para um cliente pode ser considerado de baixa qualidade para outro. Cada cliente sofre interferências distintas e, dessa forma, avalia diferentemente os canais.

Avaliar as interferências nos clientes deve levar em consideração a localização geográfica na rede, pois distintas localizações na rede possuem características distintas de interferência.

Sendo impossível para o cliente escolher seu próprio canal, visto as características atuais das redes IEEE 802.11, sugeriu-se uma análise experimental de alocação de canal para redes sem fio IEEE 802.11 onde se analisa as características de interferências próximas ao ponto de acesso.

Esta idéia baseia-se no fato que os dados trafegados através de uma rede infra-estruturada passam obrigatoriamente pelo ponto de acesso, dessa forma, esta análise afeta todos os clientes, independentemente da posição do cliente na rede. Uma solução que independe do cliente. Atualizações de *softwares* nos clientes são desnecessárias, podendo interoperar com *drivers* antigos e em diversos sistemas operacionais.

Atendendo a estes requisitos, montou-se uma estrutura capaz de monitorar a interferência próxima ao ponto de acesso, coletando valores de interferência e selecionando o canal com melhor vazão.

#### 3.1.1 Estrutura Física

Para efetuar esta análise, montou-se uma estrutura de negociação de canal com dois clientes próximos ao ponto de acesso, onde estes estabelecem conexões periódicas em todos os canais. Estas conexões, por sua vez, são observadas e avaliadas a fim de identificar o canal com melhor vazão.



Figura 2 – Estrutura Física

Nesta situação montada, o cliente *FTP* (*File Transfer Protocol*) estabelece conexões com o servidor *FTP*. O ponto de acesso tem a função de conectar as duas máquinas através de uma rede sem fio IEEE 802.11g infraestruturada com ambas máquinas distantes a 1,5 metros do ponto de acesso e 3 metros entre si.

Criou-se a partir desta situação montada, uma estrutura de coleta da seguinte forma: A cada 30 minutos é efetuada uma conexão entre cliente e servidor. É transferido um arquivo do cliente *FTP* para o Servidor *FTP* e verificado a vazão média obtida.

Este procedimento é efetuado em cada um dos 11 canais do padrão IEEE 802.11g com normas regidas pela *Federal Communications Commission* (FCC). Ou seja, utilizando os canais de 1 ao 11 e potência de transmissão no ponto de acesso de 1000 mW.

### 3.1.2 Estrutura Lógica

A estrutura lógica foi dividida em três fases: análise, seleção e alocação.

A fase de análise baseia-se em coletar os valores de vazão dos canais periodicamente, criando uma base de dados, para posteriormente, com estes dados disponíveis, verificar tendências de vazão nos diversos pontos da área abrangida pela rede.

A fase de seleção consta em avaliar as vazões, selecionar o canal que manteve a melhor média de vazão ao longo do período desejado.

A fase de alocação consta em alocar o canal no período mais apropriado, procurando oferecer o mínimo possível de quedas nas conexões estabelecidas na rede.

## 3.2 ANÁLISE DE CANAL

A fase de análise, onde é feita a coleta dos valores de vazão, deve considerar alguns aspectos a fim de se obter uma adequada coleta desses valores.

### 3.2.1 Intervalo de Coleta

O intervalo de coleta é importante para a assertividade na escolha do canal.

Intervalos muito curtos devem ser evitados, pois a coleta gera interferência às demais redes próximas. Por outro lado, intervalos muito longos levam ao erro, fazendo com que o sistema escolha um canal não tão apropriado.

### 3.2.2 Mudança da Localização do Ponto de Acesso

A coleta e a análise de dados avalia a interferência nas proximidades do ponto de acesso. Dessa forma, se um ponto de acesso for deslocado de um local para outro, estas análises não terão mais validade. Sendo assim, a coleta e análise levam em conta a localização do ponto de acesso.

Dessa forma, o desafio de integrar esta solução no próprio ponto de acesso leva em conta a capacidade do ponto de acesso de perceber as mudanças na sua localização. Isto pode ser obtido através da capacidade do ponto de acesso de perceber redes IEEE 802.11 próximas.

A identificação das redes IEEE 802.11, chamadas de *Service Set Identifier* (SSID), são muitas vezes configuradas para serem enviadas via *broadcast* a fim de facilitar a adesão de novos clientes a rede.

Esta informação, por sua vez, pode ser utilizada na localização do ponto de acesso. Uma vez que conhecemos os nomes das redes de um determinado local, se houver uma mudança na maioria dos nomes destas redes é porque houve a mudança da localização do ponto de acesso. Dessa forma, o ponto de acesso ignoraria qualquer coleta e análises obtidas anteriormente a esta mudança.

### 3.2.3 Sincronismo de Coleta

Em uma solução integrada de coleta e análise no ponto de acesso também levaria em conta uma conexão com um servidor de sincronismo de horário como o Network Time Protocol (NTP) ou o Simple Network Time Protocol (SNTP). Esta configuração é essencial para manutenção dos registros dos horários, visto que uma queda no sistema de distribuição de energia elétrica não faria a rede perder suas configurações de data e hora. A coleta não é assim prejudicada. Esta funcionalidade seria essencial para manter sempre a coleta sincronizada.

### 3.2.4 Comunicação entre Redes Sem Fio

A coleta é baseada na transferência de dados de um ponto ao outro, avaliando a vazão obtida nesta transferência. Logo, se duas redes estiverem obtendo coletas ao mesmo tempo, então o valor de vazão obtido tende a ser diferente da realidade. É importante que as coletas sejam feitas em períodos distintos.

Para isso, é importante estabelecer um padrão de comunicação para que as redes próximas possam perceber a coleta sendo feita por outra rede, evitando que coletas sejam feitas simultaneamente, obtendo assim valores incoerentes com a realidade de interferência obtida no local.

Um padrão de comunicação pode ser estabelecido com coletas obtidas através de envio de dados sem criptografia e sempre em um mesmo canal, por exemplo. Dessa forma, as redes próximas seriam sempre capazes de ler estes dados e perceber o estado de coleta.

## 3.3 SELEÇÃO DE CANAL

A seleção baseia-se em escolher o canal que manteve a melhor vazão de dados ao longo do período analisado.

### 3.3.1 Período de Tempo

O canal selecionado é o que tem a melhor vazão ao longo do período analisado, logo o período de tempo - dia, semana, mês - influencia diretamente na escolha do canal.

Não se devem escolher períodos muito longos, como meses, pois a distribuição da interferência ao longo do espectro varia muito conforme a acentuada adoção destas redes no dia a dia.

Em contrapartida, um período muito curto, como por hora, pode impor trocas sucessivas de canal, podendo trazer quedas constantes nas conexões dos clientes, causando aborrecimento.

O período de tempo deve ser escolhido conforme as características de interferência da rede.

### 3.3.2 Adaptação ao Tempo

A seleção de canal deve levar em conta a adaptação às novas redes e dispositivos que são constantemente inseridos nas proximidades, logo a seleção de canal deve ser constante e sempre considerando os últimos dias.

Dessa forma, dados referentes a datas muito antigas não são utilizados na seleção de canal, eliminando assim possíveis erros na seleção.

### 3.3.3 Melhor Vazão

A seleção deve escolher o canal com a melhor vazão. Para isso, deve-se levar em conta um critério de seleção.

Critérios de melhor média de vazão considera o canal que obteve a melhor média de vazão no período analisado. Este critério, por sua vez, pode enfrentar casos de canais com vazões muito baixas em certos horários seguidos de compensações, em outros horários, com vazões muito altas. A instabilidade pode estar sendo desconsiderada.

Critérios baseados na estabilidade da rede, procurando vazões que não se alteram muito ao longo do tempo, avaliam a dispersão dos dados de vazão coletados em cada um dos canais, identificando assim o canal que obteve a menor dispersão. Porém, deve-se levar em conta que o uso deste critério nem sempre leva em consideração os canais que obtiveram as maiores vazões.

Critérios baseados em períodos de utilização da rede também podem ser implementados, tendendo escolher o melhor canal no período que o usuário realmente faz utilização da rede.

Critérios como estes podem ser úteis em regiões estritamente comerciais. Nestas, a utilização das redes próximas pode ser alta durante o horário comercial e menor após o expediente. Dessa forma, se um

usuário mora em uma região com essa característica, pode encontrar características distintas de interferência ao longo do dia.

### 3.4 ALOCAÇÃO DE CANAL

A alocação de canal deve ser estudada separadamente, uma vez que o padrão IEEE 802.11 não foi projetado para que alocações dinâmicas sejam estabelecidas e a compatibilidade com este padrão, mesmo assim, mantém-se necessária.

No atual padrão, o canal utilizado é estabelecido pelo administrador da rede no momento da configuração da mesma. Uma vez estabelecido o canal, este é utilizado indefinitivamente, independentemente se este apresentará, futuramente, um baixo desempenho para os usuários da rede.

A compatibilidade com os demais padrões IEEE 802.11, por sua vez, sugere uma pesquisa criteriosa do comportamento dos clientes na rede, visto que a alocação de canal em horário aleatório força a desassociação do cliente da rede, fazendo estes interromperem suas atuais conexões.

Tendo em vista a necessidade dos clientes estarem sempre conectados à rede, soluções distintas são sugeridas para distintas necessidades.

#### 3.4.1 Ausência de Clientes

Em ambientes domésticos é comum a rede, em certos períodos, não apresentar clientes conectados a ela.

Períodos como a madrugada ou no horário de trabalho, são comuns usuários não apresentarem conexões estabelecidas com a rede por terem suas máquinas desligadas, podendo assim, dessa forma, obter a troca de canal da rede sem prejuízo aos clientes da rede.

#### 3.4.2 Reinicialização Manual do Ponto de Acesso

Apesar de não ser, necessariamente um método, a fase de análise e seleção determina um melhor canal para a rede e, dessa forma, a reinicialização manual do ponto de acesso é uma forma de se abandonar o antigo canal de operação para um mais adequado ao contexto de interferência atual.

### 3.4.3 Ausência ou Baixo Tráfego de Dados

Podemos estabelecer relações de momento propício para a alocação de canal baseado em tráfego. Estabelecer alocação de canal quando se verifica ausência ou baixo tráfego.

Em ambientes como aeroportos, bares, ambientes 24 horas em geral, que permanecem com clientes conectados a ela o tempo todo, esta avaliação do tráfego é necessária.

### 3.4.4 Priorização de Máquinas

Nestes casos, podemos incluir, como exemplo, conexões consideradas críticas e que não devam ser interrompidas como servidores. Servidores, mesmo sem tráfego, podem operar normalmente, esperando conexões dos clientes. Sendo assim, pode-se estabelecer prioridade a máquinas. Podemos coibir a troca de canal quando determinadas máquinas estiverem conectadas a rede.

### 3.4.5 Outras considerações

A alocação de canal pode ser feita de forma diversa e distinta, além de abrir um campo de pesquisa, onde métodos diferentes podem ser analisados em conjunto para avaliação do melhor período de alocação de canal.

Avaliação da quantidade de clientes conectados com a avaliação do tráfego leva ainda a uma melhor análise do período mais propício para a alocação de um novo canal. Além disso, podem-se utilizar outros critérios. Além da priorização de máquinas, podemos considerar a priorização dos tráfegos de aplicações na rede, considerando assim, aplicações mais sensíveis às quedas nas conexões. Comunicações em tempo real, por exemplo, requerem tempos de transmissão muito baixos, cercas de 150 ms e notam a mudança do canal.

## 4 EXPERIMENTOS E ANÁLISES

### 4.1 INTRODUÇÃO

A taxa de transmissão nominal do padrão IEEE 802.11g, de 54 Mbps, se fosse efetivamente a taxa de transmissão real, teria o seu tempo de transmissão próxima a duas vezes o tempo de transmissão atingido na tecnologia *Fast Ethernet*, com uma taxa nominal de 100 Mbps. Em testes reais verifica-se que isto não é verdade. Trabalhando com somente dois usuários na rede, ao transmitir uma imagem de *CD* (Compact Disc) de 695 MB, o menor tempo conseguido foi de 10 minutos enquanto que com o *Fast Ethernet* o tempo manteve-se estável na faixa de 1 minuto e 40 segundos. Uma queda de desempenho em 6 vezes quando comparado ao melhor tempo conseguido no padrão IEEE 802.11g. É bom salientar também que, em determinados horários, o tempo para a transmissão completa chegou a 90 minutos.

É já conhecido o problema da escolha do canal nas atuais redes IEEE 802.11. Muitas propostas foram apresentadas. Relações entre SNR e vazão, quantidade de redes vizinhas e vazão foram apresentadas. Esta abordagem de análise não estabelece relações. Ela foca na coleta de amostras de vazão para identificar o canal com menor interferência.

Esta abordagem compreende a característica de instabilidade das redes IEEE 802.11 e a dificuldade de estabelecer relações confiáveis para se identificar os canais com melhor vazão. Dessa forma, ela coleta amostras de vazão periodicamente ao invés de estabelecer relações entre variáveis para a avaliação do nível de interferência.

### 4.2 AMBIENTE DE EXPERIMENTO

Apresenta-se o ambiente de experimento: as especificações dos equipamentos, a disposição deles no ambiente e a forma de coleta dos dados no experimento.

#### 4.2.1 Disposição dos Equipamentos

Os equipamentos estão dispostos em um ambiente *indoor*, sem paredes separando eles, distantes a 1,5 metros do ponto de acesso. O cliente e o servidor, por sua vez, estão distantes a 3 metros um do outro.

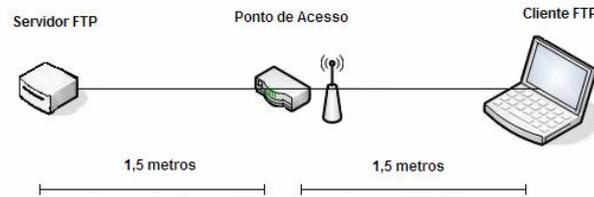


Figura 3 – Disposição dos Equipamentos

#### 4.2.2 Especificação dos Equipamentos

Os dispositivos utilizados e suas respectivas configurações são apresentados nas tabelas de 3 a 7.

Considera-se, no entanto, que as configurações não mencionadas são as configurações padrões. Obtidas ao adquirir o equipamento, determinadas a partir das configurações de fábrica.

##### 4.2.2.1 Cliente *FTP*

Na tabela 3 são apresentadas as configurações de *hardware* e *software* do Cliente *FTP* e na tabela 4 as configurações da interface de rede sem fio do Cliente *FTP*.

Tabela 3 – Configurações de *hardware* e *software* do Cliente *FTP*

Cliente <i>FTP</i>	
Modelo	Hewlett-Packard Pavilion – dv1580se
Sistema Operacional	Windows XP – SP3
Cliente <i>FTP</i> :	FTP Commander v7.0

Tabela 4 – Configurações da Interface de Rede sem fio do Cliente *FTP*

Interface de Rede sem fio do Cliente <i>FTP</i>	
Modelo	Intel® PRO/Wireless 2200BG Network Connection
Versão do Hardware	1.6.3
Versão do Software	9.0.4.17

#### 4.2.2.2 Servidor *FTP*

Na tabela 5 são apresentadas as configurações de *hardware* e *software* do Servidor *FTP*.

Tabela 5 – Configurações de *hardware* e *software* do Servidor *FTP*

Servidor <i>FTP</i>	
Modelo	Apple - Mac Mini – A1283
Sistema Operacional	Mac OS X 10.6
Servidor <i>FTP</i>	Mac OS X <i>FTP Server</i>

As interfaces de rede no servidor, por sua vez, seguem as especificações do modelo Apple – Mac Mini – A1283.

#### 4.2.2.3 Ponto de Acesso

O ponto de acesso utilizado para os experimentos é apresentado na tabela 6 e está configurado conforme a tabela 7:

Tabela 6 – Ponto de Acesso

Ponto de Acesso	
Modelo	Dlink – IR-300
<i>Firmware</i>	1.03

Tabela 7 – Configurações do Ponto de Acesso

Configurações do Ponto de Acesso	
Intervalo de <i>Beacon</i>	100 msec
<i>RTS (Request to Send) Threshold</i>	2346
Fragmentação	2346
Intervalo de <i>DTIM</i>	1

Tipo de Preâmbulo	Longo
<i>CTS (Clear to Send)</i>	Sim
802.11g	Somente
Segurança	WPA2-PSK-AES

Nos experimentos foram consideradas as normas regidas pela *Federal Communications Commission (FCC)*. Ou seja, utilizando os canais de 1 ao 11 e potência de transmissão no ponto de acesso de 1000 mW.

#### 4.2.3 Coleta de Dados de Vazão

São coletadas 3 amostras de vazão nos canais de 1 ao 11 em uma periodicidade de 30 minutos e obtido a sua média. Para que isso fosse possível, foi considerado o arredondamento de valores.

O arredondamento, conforme a tabela 8, foi necessário para considerarmos o tempo de troca de canal por parte do ponto de acesso, a associação do cliente e do servidor à nova rede configurada, assim como o tempo de conexão ao servidor FTP e o envio do arquivo. Dessa forma, consideramos os seguintes horários de coleta como coleta efetuada às 08:00 horas.

Tabela 8 – Horário Real de Coleta de Dados de Vazão para às 08:00 horas

Canal	Horário real de coleta
1	08:02
2	08:04
3	08:06
4	08:08
5	08:10
6	08:12
7	08:14
8	08:16
9	08:18
10	08:20
11	08:22

Da mesma forma, analogamente, foi utilizado a mesma disposição de horários para as coletas efetuadas nos demais horários. Através desta disposição, salienta-se que no primeiro minuto não é efetuada nenhuma medição. Este período é reservado para efetuar a varredura de redes IEEE 802.11 nas proximidades, a fim de se identificar, na região, a quantidade de redes IEEE 802.11.

#### 4.3 EXPERIMENTOS E ANÁLISES

É possível obter, através de *softwares* específicos, informações detalhadas das redes IEEE 802.11 nas proximidades de uma dada região. Estes *softwares*, por sua vez, apresentam informações como a quantidade de redes IEEE 802.11 operando nas proximidades, assim como o canal de operação e a potência utilizada por estas redes.

Estas informações são muitas vezes utilizadas para identificar canais de operação mais apropriados para uma nova rede a ser instalada. Procura-se evitar, através das informações obtidas, criar e configurar uma rede nova nos canais utilizados pelas demais redes próximas.

Esta análise, procurando evitar os canais de operação mais utilizados, por sua vez, é uma avaliação que não considera diversos fatores, como a potência das redes nas proximidades, o tráfego gerado por cada uma destas redes, assim como descarta a utilização de redes de outros padrões e dispositivos emissores de rádio frequência como *Bluetooth*, *ZigBee*, telefones em fios, babás eletrônicas, entre outros.

Com o intuito de apresentar esta questão, identificamos os canais mais utilizados pelas redes IEEE 802.11 encontradas nas proximidades e comparamos a quantidade de redes operando em cada canal com a vazão obtida nestes canais.

Dessa forma, verificamos que configurar uma rede nova para operar em um canal pouco utilizado pelas redes IEEE 802.11 próximas não é certeza de obtenção de boa vazão de dados, assim como a configuração de uma nova rede em um canal muito utilizado, não é certeza de obtenção de baixa vazão de dados.

Para esta análise, utilizamos o *software* inSSIDer, monitorando, em uma periodicidade de 30 minutos, a quantidade de redes IEEE 802.11 operando em cada um dos canais da faixa de 2,4 GHz.

A fim de limitar a área de busca, consideramos redes IEEE 802.11 próximas como redes IEEE 802.11 que mantinham um sinal com

potência de, no mínimo, 0,1 pW (ou -100 dBm) medidos na área a ser analisada.

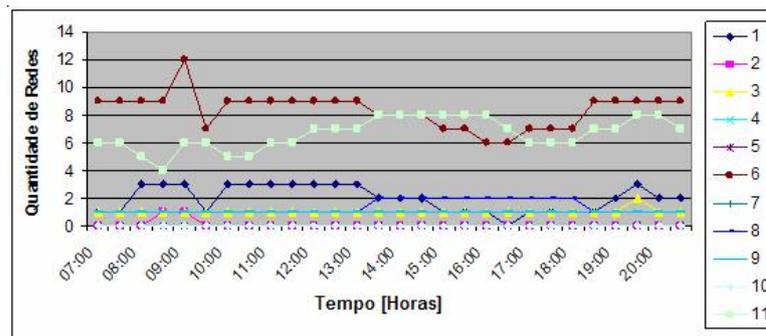


Figura 4 – Quantidade de redes operando em cada um dos canais.

Tendo como base a figura 4 podemos identificar os canais de 1 ao 11 dos padrões IEEE 802.11b/g/n. Nota-se através do gráfico que a quantidade de redes nas proximidades altera-se ao longo do dia. Conclui-se dessa forma que identificar os canais mais utilizados nas proximidades deve-se levar em conta o período todo do dia, avaliando também as mudanças ao longo da semana, mês e assim sucessivamente.

No entanto, como citado anteriormente, identificar o canal IEEE 802.11 mais utilizado nas proximidades não é a solução mais apropriada a fim de se identificar o nível de interferência na região.

Esta avaliação desconsidera o tráfego gerado em cada uma das redes IEEE 802.11, a sobreposição dos canais dos padrões IEEE 802.11, assim como desconsidera da avaliação outras tecnologias que também utilizam a faixa de frequência 2,4 GHz. A fim de exemplificar este problema, configuramos uma rede para operar em cada um dos canais e medimos a vazão alcançada por esta rede, em cada um dos canais, em uma periodicidade de 30 minutos. Comparamos a vazão obtida com a quantidade de redes IEEE 802.11 operando em cada canal na mesma periodicidade.

Na figura 5, são apresentados a quantidade de redes IEEE 802.11 operando nos canais 6 e 11. Estes canais foram os canais mais utilizados ao longo do dia.

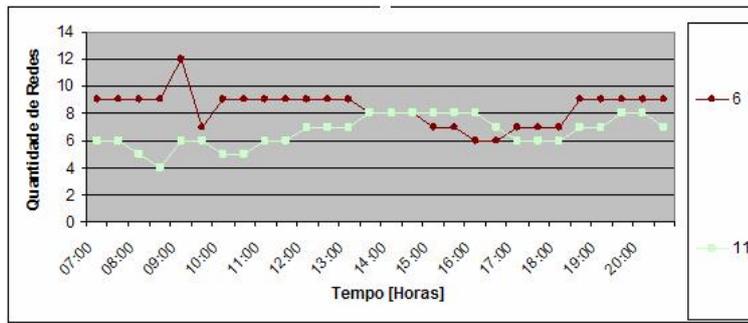


Figura 5 – Quantidade de redes operando nos canais 6 e 11.

Através da figura 5, podemos destacar que o canal 6 foi o canal mais utilizado pelas redes IEEE 802.11 que se apresentavam nas proximidades da área analisada. Destacamos também que o canal 6 chegou a ser utilizado por 12 redes às 09:00 horas. Já no período das 16:00 até as 16:30, o canal foi utilizado por somente 6 redes. Uma queda de 100% no número de redes operando no canal.

Avaliamos também a quantidade de redes operando nos canais 4, 5, 7 e 10 ao longo do dia conforme figura 6.

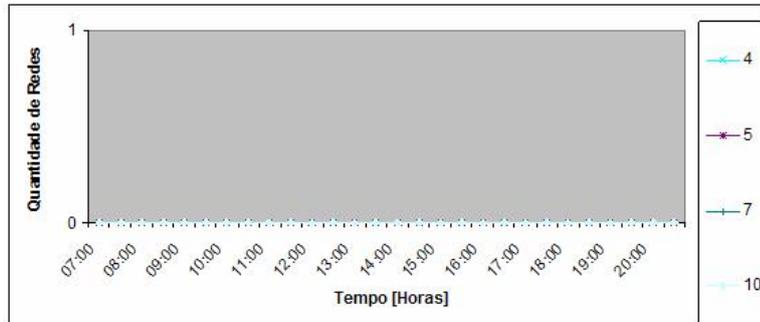


Figura 6 – Quantidade de redes operando nos canais 4, 5, 7 e 10.

Note que nenhum dos quatro canais foi utilizado. Em nenhum momento, ao longo do dia, estes canais foram utilizados pelas redes. Porém, embora isso tenha ocorrido, quando comparamos o número de canais utilizados com a vazão alcançada em cada um deles, verificamos que canais poucos utilizados, ou sem utilização, não é garantida de boa vazão de dados. Para isso, coletando valores de vazão de 30 em 30

minutos, obteve-se a vazão média alcançada em cada um dos 11 canais, conforme figura 7.

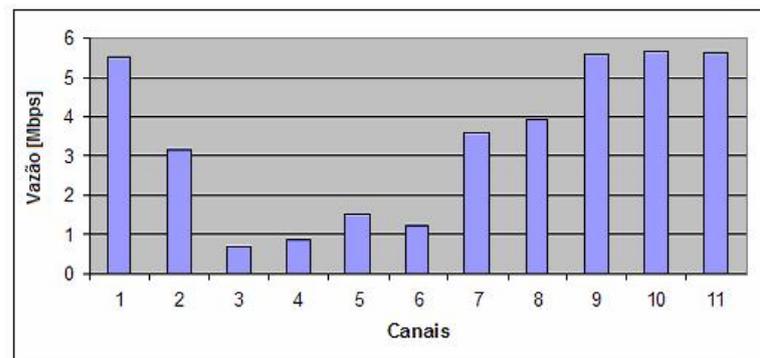


Figura 7 – Vazão Média dos Canais.

Percebe-se que o canal 4, canal que não foi utilizado por nenhuma rede, teve a segunda pior média de vazão ao longo do dia.

Da mesma forma, o elevado número de redes operando nos canais 6 e 11, conforme apresentada na figura 5, não identifica canais com baixa vazão, tendo o canal 11 com a segunda maior média de vazão no período analisado.

Dessa forma, afirma-se que, devido a inúmeros fatores como tráfego, mobilidade dos clientes na rede, a interferência obtida por dispositivos de redes de outros padrões e a sobreposição de canais, a quantidade de redes IEEE 802.11 próximas não é decisiva na avaliação da vazão alcançada por essas redes.

#### 4.3.1 Análise

A fase de análise é a principal diferença das demais soluções propostas. Neste, é analisado diretamente a vazão de todos os canais. Parâmetros como SNR, quantidade de redes próximas operando no mesmo canal e/ou em canais adjacentes, entre outros parâmetros não são considerados na análise.

Sendo assim, foram coletados valores de vazão em todos os canais, a cada 30 minutos, em um período do dia compreendido das 07:00 horas às 20:30 horas. Foi obtido o gráfico:

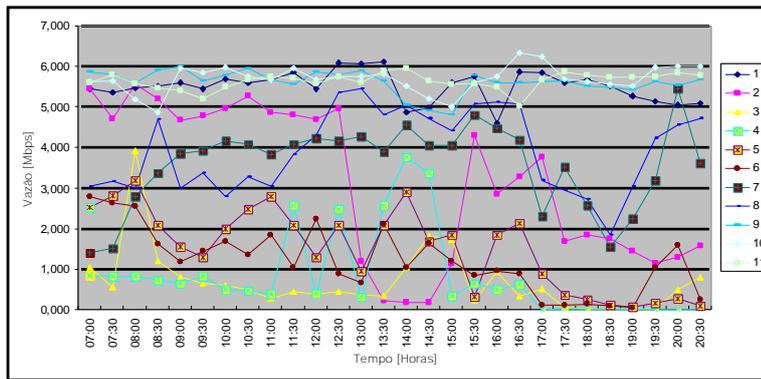


Figura 8 – Vazão de todos os canais

Destacamos da figura 9, as vazões coletadas no canal 3 e no canal 10, canais que obtiveram respectivamente a pior e a melhor média de vazão coletada.

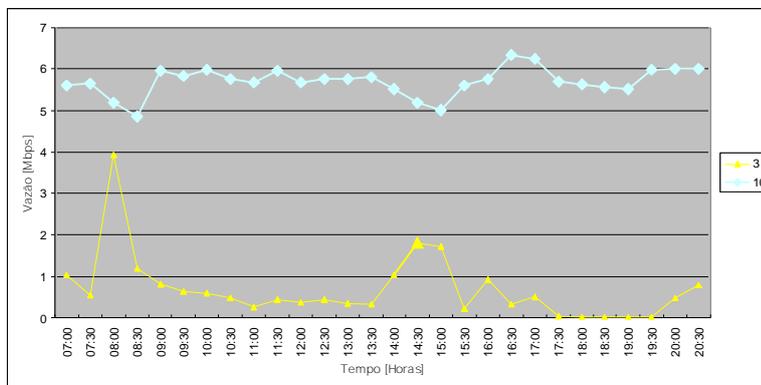


Figura 9 – Comparação entre canais 3 e 10, com respectivamente a menor e a maior média de vazão.

A partir dos dados coletados e apresentado na figura 8 e 9, verificamos que a vazão em cada canal segue normalmente uma tendência. Boas vazões alcançadas em determinado período do dia tendem a permanecerem boas ao longo do dia. E, da mesma forma, vazões baixas tendem a permanecerem baixas ao longo do dia. No caso

da figura 9, o canal 3 apresentou uma baixa vazão todo o período do dia, não alcançando o canal 10 em nenhum momento.

Porém, deve ser destacado, que alguns canais não se comportam da mesma forma. Pode-se ser vista variações drásticas desta tendência em alguns canais conforme as figuras 10 e 11.

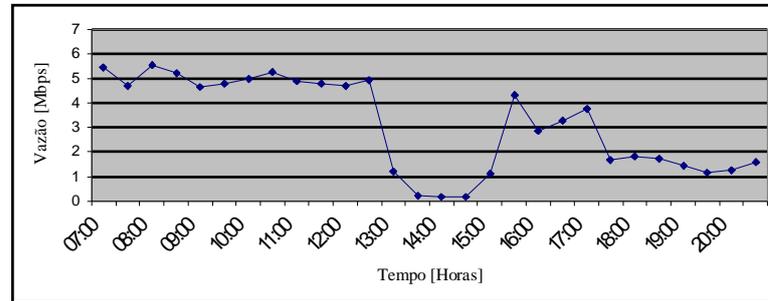


Figura 10 – Vazão do canal 2

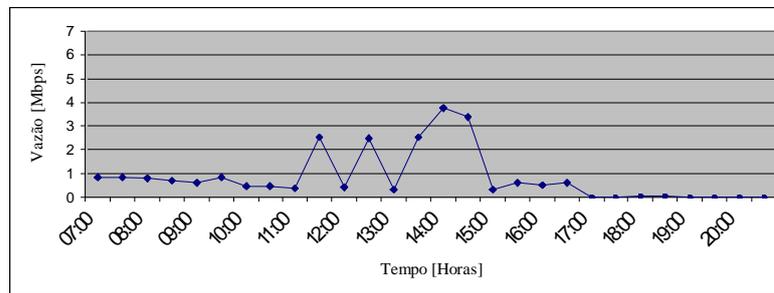


Figura 11 – Vazão do canal 4

Na figura 10 a vazão coletada para o canal 2 obtém uma queda drástica a partir das 13 horas, permanecendo assim até às 15:30 horas. Dessa forma, podemos concluir que avaliar uma vazão no período matutino, até as 12:00 horas, não é garantia de identificação de uma alta vazão no período vespertino.

Na figura 11, verifica-se o inverso. Um canal com baixa vazão, se for analisado em um período curto do dia, poderia ser identificado como tendo uma elevada vazão, enquanto na maior parte do dia apresenta uma baixa vazão.

Desta forma, a avaliação da vazão deve considerar um maior tempo de análise. Considerar os últimos dias, por exemplo. Quanto

maior o tempo de análise tende-se a ter uma melhor garantia de assertividade. No entanto, considerar as últimas semanas poderia incluir na análise dados muito antigos.

Canais que possuem vazão que variam muito ao longo do período analisado não devem ser utilizados, visto que sua vazão é uma incógnita, não podendo ser prevista. Dessa forma, avaliamos a dispersão dos dados de vazão em relação a sua média e obtivemos na figura 12 o desvio padrão de cada um dos canais.

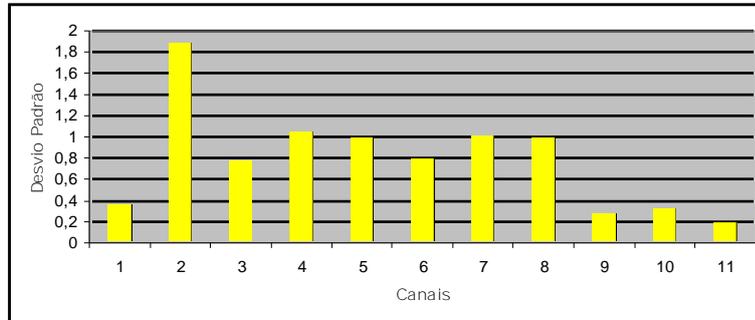


Figura 12 – Desvio Padrão dos canais

O desvio padrão fornece o grau de dispersão dos valores de vazão em relação a sua média. Quanto maior o desvio padrão, maior é a dispersão e maior a variação da vazão em relação a sua média.

Dessa forma, o canal que possui a vazão mais constante é o canal 11, sendo o canal 2 o canal com a vazão mais inconstante.

#### 4.3.2 Seleção

A fase de análise trata-se da coleta dos dados. Como a coleta deve ser feita. Na fase de seleção, por sua vez, a questão abordada é como manipular os dados coletados.

Dessa forma, a seleção do canal pode-se levar em conta diversos fatores. Determinar o canal com melhor vazão pode considerar a melhor média de vazão alcançada ao longo do dia. Em outros casos, poderia considerar a melhor média de vazão alcançada no período da manhã, visto que o usuário doméstico poderia estar interessado em obter um canal de melhor vazão somente no período em que ele utiliza a rede. Neste exemplo, pela manhã. Poderia ainda se levar em conta a

necessidade de utilizar canais com vazões constantes e com baixas oscilações na vazão.

Considerando a melhor média de vazão ao longo do dia, obtemos a figura 13:

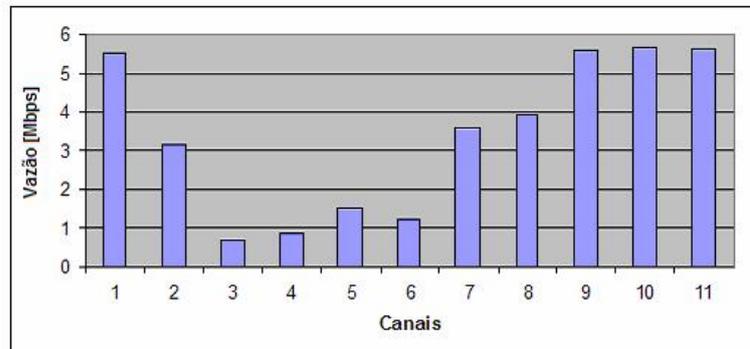


Figura 13 – Vazão Média dos Canais no Período do Dia.

E, considerando a melhor média de vazão no período matutino, obtemos a figura 14.

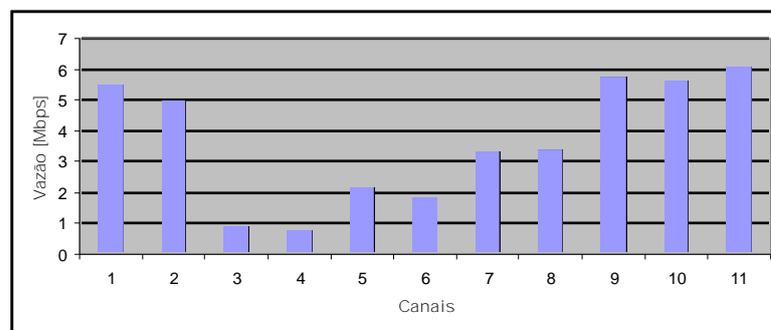


Figura 14 – Vazão Média dos Canais no Período Matutino.

Na figura 13, considerando o período completo do dia, o canal 10 é o canal com melhor média de vazão. No entanto, quando avaliamos o período matutino, na figura 14 o canal 11 é o canal com melhor média de vazão. É percebido também um considerado aumento na média da vazão do canal 2 quando o período analisado é somente o período matutino.

Dessa forma, é importante destacar a necessidade de se determinar precisamente o período a ser avaliado a fim de se identificar o canal mais apropriado para os clientes da rede. Avaliações podem destacar a melhor média de vazão do último dia, da última semana ou dos últimos períodos matutinos. O período analisado é fundamental na seleção do canal.

Considerando a melhor média de vazão no dia dos canais 3, 8 e 11 obtemos a figura 15.

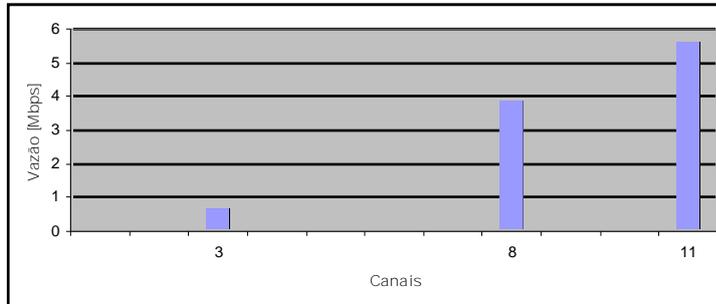


Figura 15 – Vazão Média dos Canais 3, 8 e 11 no Período do Dia.

Considerando a vazão alcançada a cada 30 minutos, obtemos a figura 16.

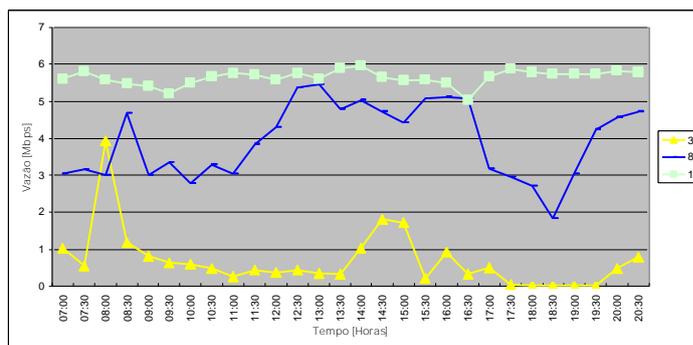


Figura 16 – Vazão dos Canais 3, 8 e 11.

Destaca-se através da figura 15 e 16 a relação entre média de vazão e a vazão efetivamente obtida no dia. No entanto, uma elevada média de vazão não corresponde sempre em uma melhor vazão.

Conforme figura 16, às 13:00 horas e 16:00 horas, o canal 8 chega a vazões próximas ao do canal 11. Da mesma forma, podemos verificar que às 08:00 horas o canal 8 é superado pelo canal 3.

Sendo assim, é importante inserir na análise o conceito de desvio padrão, procurando não somente obter o canal com melhor vazão, mas o que mantém esta vazão o mais constante possível ao longo do dia. Podemos criar assim a fórmula:

$$N = V / S$$

Onde “N” é a nota dada ao canal, “V” é vazão média do canal, “S” o desvio padrão da vazão. Dessa forma obtemos na figura 17, o canal mais adequado avaliando vazão e desvio padrão.

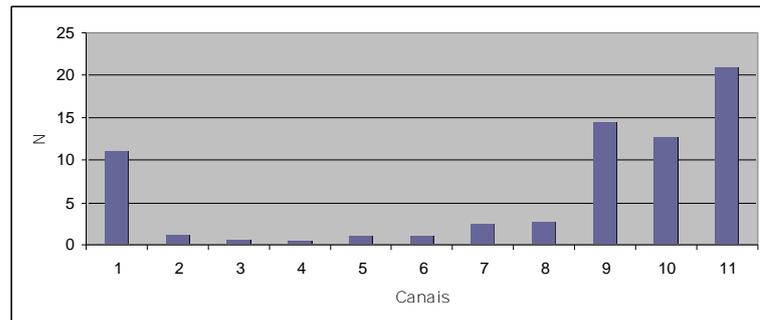


Figura 17 – Nota dada ao canal baseado na vazão e no desvio padrão.

Conforme figura 17, podemos avaliar tanto o nível de vazão como a estabilidade da vazão ao longo do período analisado e, avaliando em um período compreendido das 07:00 horas até as 20:30 horas, obtemos o canal 11 como o canal mais apropriado.

#### 4.4 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

Destaca-se que as medições de vazão levam em consideração a área próxima do ponto de acesso, não fazendo qualquer medição no cliente. A interferência obtida no cliente não é avaliada. A avaliação é feita exclusivamente no ponto de acesso. Desta forma, necessita ser uma rede IEEE 802.11 infra-estruturada.

As medições no ponto de acesso, por sua vez, são feitas em uma periodicidade de 30 minutos, a fim de estimar o desempenho do canal a médio e longo prazo. Não necessariamente a avaliação do canal se traduz na obtenção do canal de melhor desempenho. Leva-se em consideração na análise um erro experimental de 6% na coleta dos dados. Foram coletados, a cada 30 minutos, 3 valores de vazão que se tornavam válidos quando se encontravam com uma diferença de no máximo 6% em relação a média dos valores coletados.

Salienta-se que, dependendo da densidade demográfica, do PIB (Produto Interno Bruto) e do ambiente caracteristicamente urbano, a quantidade de redes em uma região pode se alterar, aumentando ou diminuindo o número de redes, o que levaria a níveis diferentes de interferência, diferenciando-se assim das vazões máximas e mínimas atingidas na pesquisa.

Dessa forma, é importante levar em conta que as experiências foram feitas no centro de Florianópolis, Santa Catarina – Brasil. Uma cidade que possui, segundo o censo 2007 do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), uma população de 396.723 habitantes. Não foi avaliado o desempenho em áreas mais populosas e densas, como São Paulo, com 10.886.518 habitantes, onde se acredita que haja uma diferença no índice de desempenho.

É importante afirmar também que, o número de redes IEEE 802.11 em uma dada área é uma incógnita. Uma rede IEEE 802.11 pode ser configurada para se apresentar invisível a terceiros. Em outras palavras, não envia via broadcast a sua identificação de rede, chamada de *Service Set Identifier* (SSID).

Sendo assim, o número de redes IEEE 802.11 apresentadas na pesquisa é uma análise do número de redes IEEE 802.11 que foram configuradas para se identificar.

## 5 CONCLUSÃO

### 5.1 PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES

O trabalho fornece um método de análise da interferência no raio de 1,5 metro do ponto de acesso, avaliando periodicamente a área a fim de se obter o canal com melhor vazão e com menor oscilação de vazão. A área de interferência avaliada é uma área onde afeta a todos os clientes em uma rede infra-estruturada haja vista a necessidade de toda comunicação ser feita através do ponto de acesso.

O método avalia a interferência na região do ponto de acesso através de uma estrutura de análise montada próxima ao ponto de acesso. Dessa forma, o método é independente. Não exige dos clientes qualquer atualização de *driver* e/ou *software*.

Existem atualmente diversos dispositivos clientes operando através do padrão IEEE 802.11. Exemplos destes dispositivos temos: *smartphones*, câmeras fotográficas, impressoras, *video-games*, entre outros. Essa quantidade de plataformas e o desconhecimento do usuário em torno da necessidade de atualização de *drivers* e/ou *software* dificultaria a análise da interferência a partir dos clientes.

O trabalho apresenta um método de avaliação de interferência nas redes IEEE 802.11 onde se avalia tanto o nível de vazão quanto a estabilidade da vazão no período analisado. O trabalho se propôs a identificar o canal com o melhor das duas características baseado no histórico de amostras de vazão recolhidas.

### 5.2 TRABALHOS FUTUROS

#### 5.2.1 Sistema de Alocação de Canal

Elaborar um sistema de alocação de canal capaz de analisar, selecionar e alocar o canal de forma automática, sem necessidade dos administradores precisarem analisar e configurar o ponto de acesso. Para isso, é importante destacar várias questões a serem estudadas e implementadas como descritas nos itens de 5.2.1.1 ao 5.2.1.6.

### 5.2.1.1 Mudança da Localização do Ponto de Acesso

Há a necessidade de identificar a localização do ponto de acesso, pois a mudança da localização do ponto de acesso leva a mudança das características de interferência sentidas no ponto de acesso. Dessa forma, há de se integrar no ponto de acesso um método de identificação de deslocamento do ponto de acesso dentro de uma área.

Levando em conta que o ponto de acesso, assim como qualquer cliente, é capaz de perceber as redes IEEE 802.11 próximas, pode-se então coletar estas informações e compará-las com as informações coletadas em um período futuro.

Tendo como informação os nomes das redes, comparamos os nomes das redes encontradas dias atrás com os nomes das redes encontradas hoje. Se, nesta comparação, um número elevado de nomes forem diferentes, logo o ponto de acesso mudou de localização.

Esta análise leva em conta a característica dos pontos de acessos de tender a estarem sempre fixos em um ambiente e, por sua vez, identifica a necessidade de iniciar novamente a coleta dos dados de vazão, visto que, como houve o deslocamento do ponto de acesso, os valores antes coletados não são mais válidos.

### 5.2.1.2 Sincronismo de Coleta

Em uma solução integrada de coleta é importante destacar a importância do horário de coleta dos valores de vazão. Se houver a necessidade de analisar os valores coletados no período matutino, então é importante ter certeza que estes dados foram realmente coletados neste período.

Para isso, é importante destacar a necessidade de estabelecer conexão com servidores de sincronismo de data e horário como o *Network Time Protocol* (NTP) ou o *Simple Network Time Protocol* (SNTP). Uma vez que haja queda de energia elétrica, ou qualquer outro problema de outra ordem, o horário seja corrigido assim que o sistema entre em funcionamento novamente.

### 5.2.1.3 Comunicação entre Redes Sem Fio

A coleta é baseada na transferência de dados de um ponto ao outro, avaliando a vazão obtida nesta transferência. Se duas redes estiverem obtendo coletas ao mesmo tempo, então uma estará causando interferência na outra, obtendo assim valores de vazão diferentes da

realidade. Dessa forma, é importante estabelecer um padrão de comunicação entre as redes para que elas possam identificar a coleta sendo feita por outra rede, evitando a obtenção de valores de vazão irreais. Cria-se então a necessidade de estabelecer um padrão de comunicação para que as redes próximas sejam capazes de perceber o estado de coleta de outras redes.

#### 5.2.1.4 Múltiplas Antenas para Mudança de Canal

A fase de troca de canal traz a desassociação dos clientes à rede. Ou seja, há a perda das conexões dos clientes à rede. Dessa forma, é importante compreender que não é suficiente a identificação do melhor canal, mas compreender também que existe um momento mais propício para a troca de canal a fim de evitar eventuais transtornos como interrompimento de vídeos conferências, ligações voz sobre IP.

Dessa forma, um estudo se direcionou a fim de utilizar múltiplas antenas a favor da troca de canal, onde os dados seriam transmitidos sobre redundância em dois canais ao mesmo tempo. Essa característica ocorreria até que um dos canais fosse totalmente abandonado pelos clientes da rede.

A rede, por si só, forneceria somente um canal para associação do cliente à rede. Uma vez que este canal se tornasse impróprio, com alta interferência, uma segunda antena, operando em um canal mais apropriado, entraria em funcionamento encaminhando os mesmos pacotes do primeiro canal em redundância.

Assim que este segundo canal entrasse em funcionamento, todos os novos clientes da rede se associariam ao novo canal e, os antigos clientes, manteriam a associação à rede pelo antigo canal até que suas máquinas tivessem que serem reiniciadas, forçando a associação à rede pelo segundo canal.

Este ciclo voltaria a acontecer até que um melhor canal voltasse a ser identificado pelo sistema de alocação de canal.

#### 5.2.1.5 Auto-regeneração

Uma mudança de canal nem sempre deverá agradar a todos os clientes. Clientes espalhados por uma área grande de cobertura podem sofrer níveis diferentes de interferência em cada um dos canais. Dessa forma, é possível que seja necessário que a rede volte a operar em um antigo canal baseado na avaliação da queda de desempenho percebido nos clientes.

A auto-regeneração de canal é possível de ser feita através da análise da *Signal Noise Rate* (SNR) nos clientes. A análise dessa taxa, que mede a interferência do sinal pode informar ao ponto de acesso se o canal selecionado agradou a todos os clientes da rede. Verificando a quantidade de clientes e o SNR médio entre eles, podemos estabelecer um melhor canal baseado no SNR médio dos clientes.

Esta abordagem não instalaria nenhum *software* nos clientes, e nem necessitaria atualização de *drivers* nos clientes, pois além dos computadores, com seus diversos sistemas operacionais, tem chegado ao mercado uma enorme quantidade de dispositivos compatíveis com as atuais redes IEEE 802.11 como *smartphones*, *video-games*, tocadores de áudio e vídeo. A instalação de *software*, ou atualização do *driver*, exigiria esta portabilidade, o que dificultaria a adoção do sistema.

Dessa forma, uma vez que o nível de sinal e o nível de ruído captados nestes dispositivos não podem ser monitorados, monitora-se então o nível de sinal e o nível de ruído de cada dispositivo no ponto de acesso. Ou seja, não se pode monitorar o nível de ruído sentido nestes dispositivos na recepção do sinal, porém é possível monitorar o nível de ruído sofrido por esses dispositivos na transmissão do sinal do cliente para o ponto de acesso. O ponto de acesso analisa os dados que chegam até ele, avaliando o SNR de cada cliente.

Uma vez coletado o nível de SNR destes dispositivos, pode-se então verificar a mudança imediata no nível de interferência em cada dispositivo após a mudança do canal de operação da rede.

O ponto de acesso conhece os dispositivos conectados a ele e, sendo assim, é possível escolher o canal baseado no nível de SNR que melhor atende a maioria dos dispositivos, ou ainda, dando ênfase a dispositivos de maior importância.

#### 5.2.1.6 Sistema de Localização de Clientes

Há trabalhos publicados que tratam da localização geográfica de um cliente dentro de uma rede sem fio. A localização do cliente em ambiente é importante para que se possa correlacionar o SNR e a sua localização. A correlação entre SNR e localidade faz com que o sistema possa identificar regiões críticas no nível de interferência em cada um dos canais, procurando evitar assim utilizar certos canais quando se verifica que os clientes estão utilizando a rede, na maior parte do tempo, em certas localidades de um ambiente. Esta característica pode ser integrada ao sistema, dando maior flexibilidade na seleção do canal.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKELLA, A.; JUDD, G.; SESHAN S.; STEENKISTE, P. Self-Management[AAF1] in Chaotic Wireless Deployments. In: ACM MOBICOM, 11., Cologne (Germany), 2005. Proceedings... Cologne: ACM, 2005.
- ATHANASIOUS, G.; BROUTIS, I.; KORAKIS; TASSIULAS, L. LAC: Load-aware channel selection in 802.11 WLANs. In: International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications – PIMRC, 19., Cannes (France), 2008. Proceedings... Cannes: IEE, 2008.
- BETTA, G.; CAPRIGLIONE, D.; FERRIGNO, L.; MIELE, G. Influence of Wi-Fi computer interfaces on RF measurement systems., Virtual environments, human-computer interfaces and measurements systems. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON VIRTUAL ENVIRONMENTS, HUMAN-COMPUTER INTERFACES, AND MEASUREMENT SYSTEMS - VECIMS, Ostuni (Italy), 2007. Proceedings... Ostuni: IEEE, 2007.
- BEVILACQUA, A.; MANIERO, A., GEROSA, A.; NEVIANI, A. An Integrated Solution for Suppressing WLAN Signals in UWB Receivers. IEEE Transactions on Circuits and Systems I. v. 54, n<sup>o</sup>. 8, 2007. p. 1617-1625.
- CAO, J.; YU, J.; KIM, K.; LEE, W. Behavioral Learning of Exposed Terminals in IEEE 802.11 Wireless Networks. In: Ubiquitous and Future Networks – ICUFN, 1., Hong Kong, 2009. Proceedings... Hong Kong: IEEE, 2009.
- CHEN, R.; ZHANG, Y. J. On Throughput Limit of Multi-Rate IEEE 802.11 WLANs: Basic Access vs RTS/CTS Access. In: IEEE WIRELESS COMMUNICATIONS & NETWORKING CONFERENCE – WCNC, Las Vegas, 2008. Proceedings... Las Vegas: IEEE, 2008.
- DRIEBERG, M.; ZHENG, F. C.; AHMAD, R.; OLAFSSON, S.; FITCH, M. Effectiveness of Asynchronous Channel Assignment Scheme in Heterogeneous WLANs. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON WIRELESS AND PERVASIVE COMPUTING – ISWPC, Melbourne, 2009. Proceedings... Melbourne: IEEE, 2009.

ESLAMNOUR, B.; ZAWODNIOK, M.; JAGANNATHAN, S.  
Dynamic Channel Allocation in Wireless Networks using Adaptive Learning Automata. In: IEEE WIRELESS COMMUNICATIONS & NETWORKING CONFERENCE – WCNC, Budapest (Hungary), 2009. Proceedings... Budapest: IEEE, 2009.

EUROPEAN TELECOMMUNICATIONS STANDARDS  
INSTITUTE. Disponível em <<http://www.etsi.org>[AAFI]/>.

FEDERAL COMMUNICATIONS COMMISSION. Disponível em  
<<http://www.fcc.gov/>>.

GURKAS, G. Z.; ZAIM, A. H.; AYDIN, M. A. Security Mechanisms And Their Performance Impacts On Wireless Local Area Networks. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON COMPUTER NETWORKS - ISCN, Istanbul (Turkey), 2006. Proceedings... Istanbul: IEEE, 2006.

HUI, J.; DEVETSIKIOTIS, M. Metamodeling of Wi-Fi Performance. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMMUNICATIONS - ICC, Istanbul (Turkey), 2006. Proceedings... Istanbul: IEEE, 2006.

KAUFFMANN, B.; BACCELLI, F.; CHAINTEAU, A.; MHATRE, V.; PAPAGIANNAKI, K.; DIOT, C. Measurement-Based Self Organization of Interfering 802.11 Wireless Access Networks. In: IEEE CONFERENCE ON COMPUTER COMMUNICATIONS - INFOCOM, 26., Anchorage (Alaska, USA), 2007. Proceedings... Anchorage: IEEE, 2007.

KIM, H. J.; ISMAIL, M.; RODRIGUEZ, D.; GONZALES, De L. A 2.4 GHz Concurrent Radio Transceiver Architecture for Bluetooth and Wi-Fi. In: IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON INDUSTRIAL ELECTRONICS - ISIE, Dubrovnik (Croatia), 2005. Proceedings... Dubrovnik: IEEE, 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA.  
Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/>>

INSSIDER. Disponível em  
<<http://www.metageek.net/products/inssider/>>.

LEITH, D. J.; CLIFFORD, P. A Self-Managed Distributed Channel Selection Algorithm for WLANs. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MODELING AND OPTIMIZATION IN MOBILE, AD HOC, AND WIRELESS NETWORKS – WiOPT, 4., Boston, 2006. Proceedings... Boston: ACM, 2006.

- LEUNG, B. J.; KIM, K. K. Frequency Assignment for IEEE 802.11 Wireless Networks. In: IEEE SEMI-ANNUAL VEHICULAR TECHNOLOGY CONFERENCE – VTC, Orlando, 2003. Proceedings... v. 3. Orlando: IEEE, 2003. p. 1422-1426.
- MAHANTI, A.; WILLIAMSON, C.; ARLITT, M.; MAHANTIT, A. Comparing Wire-side and Wireless-side WLAN Monitoring Techniques: A Case Study. In: IEEE CONFERENCE ON LOCAL COMPUTER NETWORKS – LCN, 35., Denver, 2007. Proceedings... Denver: IEEE, 2007.
- MAHTRE, V. P.; PAPAGIANNAKI, K.; BACELLI, F. Interference Mitigation through Power Control in High Density 802.11 WLANs. In: IEEE CONFERENCE ON COMPUTER COMMUNICATIONS - INFOCOM, 26., Anchorage (Alaska, USA), 2007. Proceedings... Anchorage: IEEE, 2007.
- MISHRA, A.; BRIK, V.; BAMERJEE, S.; SRINIVASAN, A.; ARBAUGH, W. A Client-Driven Approach for Channel Management in Wireless LANs. In: CONFERENCE ON COMPUTER COMMUNICATIONS -INFOCOM, 25., Barcelona, 2006. Proceedings... Barcelona: IEEE, 2006.
- MISHRA, A.; AGRAWAL, D.; SHRIVASTAVA, V.; BANERJEE, S.; GANGULY, S. Distributed channel management in uncoordinated wireless environments. In: ANNUAL INTERNATIONAL CONFERENCE ON MOBILE COMPUTING AND NETWORKING - MOBICOM, 12., 2006. Proceedings... Los Angeles: ACM, 2006.
- ROZNER, E.; MEHTA, Y.; ANELLA, A.; QIU, L. Traffic-Aware Channel Assignment in Enterprise Wireless LANs. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON NETWORK PROTOCOLS, - ICNP, Beijing, 2007. Proceedings... Beijing: IEEE, 2007.
- SILVA, M. W. R.; REZENDE, J. F. SDCD: Um Novo Mecanismo para a Seleção Automática de Canal em Redes IEEE 802.11 Independentes. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE REDES DE COMPUTADORES - SBRC, 25., Belém, 2007. Anais... Belém: SBC, 2007.
- TEIXEIRA, E. D.; WESTPHALL, C. B.; WESTPHALL, M. C. Self-configuration Channel in the Wireless Local Networks. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON NETWORKS- ICN, 8., Cancun, 2009. Proceedings... Cancun: IEEE, 2009.

TELECOM ENGINEERING CENTER. Disponível em  
<<http://www.telec.or.jp/>>.

YANG, S.; LEE, K.; SEO, H.; KIM, H.; SPLASH: a Simple Multi-Channel Migration Scheme for IEEE 802.11 Networks. In: IEEE VEHICULAR TECHNOLOGY CONFERENCE – VTC, 67., Singapore, 2008. Proceedings... Singapore: IEEE, 2008.

## APÊNDICE

## APÊNDICE 1 – VAZÃO DOS CANAIS

Na figura 18, obtemos a vazão no canal 1 ao longo do dia. Percebe-se uma vazão alta e estável. A vazão fica entre 4,6 a 6,1 Mbps. Há pouca variação ao longo do dia.

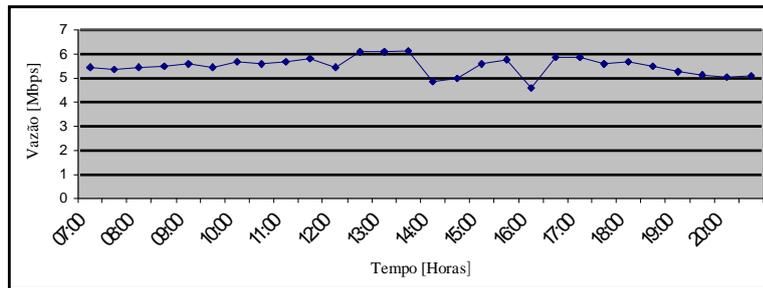


Figura 18 – Vazão do Canal 1

Na figura 19, obtemos a vazão no canal 2. Nota-se uma queda abrupta às 13:30, o que mostra uma característica de instabilidade no nível de vazão do canal. No primeiro período do dia, período matutino, percebe-se uma alta vazão, chegando a 5,5 Mbps. No período vespertino, percebe-se uma queda abrupta do nível de vazão, chegando a 0,17 Mbps às 14:30. Um canal que varia sua vazão de 5,5 Mbps a 0,17 Mbps configura-se em um canal com uma vazão de alta oscilação.

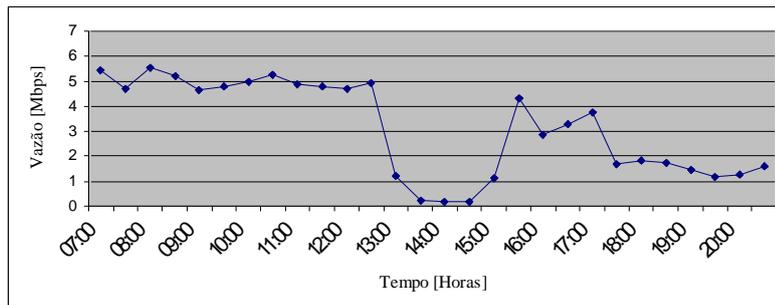


Figura 19 – Vazão do Canal 2

Na figura 20, obtemos a vazão no canal 3, que possui um baixo valor de vazão ao longo de todo o dia, caracterizando como um canal que sofre um alto nível de interferência, chegando a variar sua vazão de 0,02 a 0,5 Mbps entre 15:30 horas às 20:00 horas.

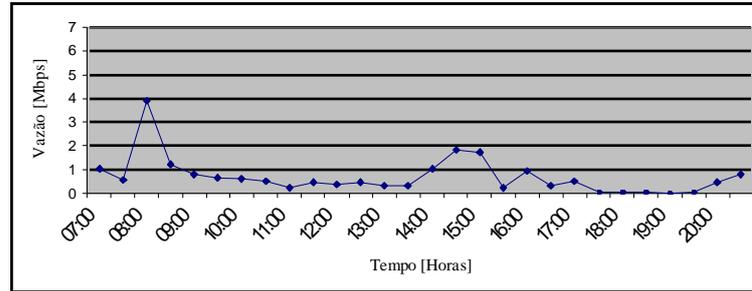


Figura 20 – Vazão do Canal 3

Na figura 21, obtemos a vazão no canal 4. Percebe-se neste canal um baixo valor de vazão, próximo ao 1 Mbps, com alta variação ao longo do dia, chegando acima de 3,5 Mbps.

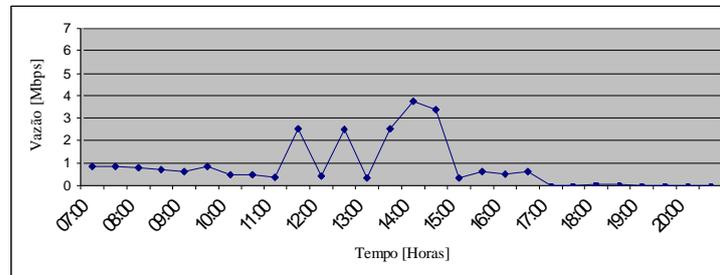


Figura 21 – Vazão do Canal 4

Na figura 22, obtemos a vazão no canal 5. A vazão do canal 5 possui uma baixa vazão ao longo do dia, chegando ao máximo à 3,2 Mbps.

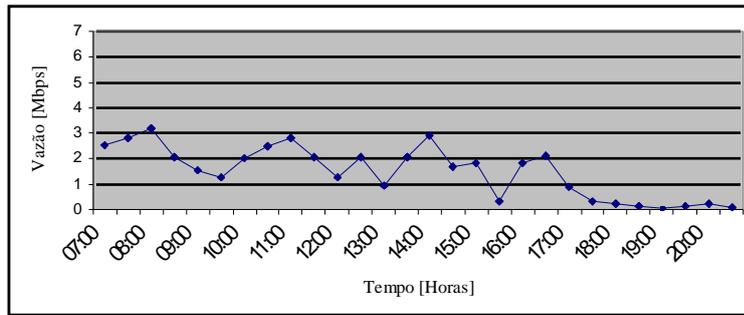


Figura 22 – Vazão do Canal 5

Na figura 23, obtemos a vazão do canal 6. A vazão deste canal varia entre aproximadamente 2,8 Mbps à 0,05 Mbps. Uma vazão muito baixa.

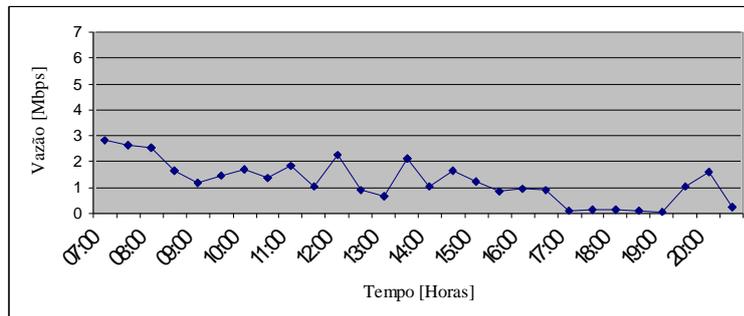


Figura 23 – Vazão do Canal 6

Na figura 24, obtemos a vazão no canal 7. Este canal possui uma característica de aumento da vazão ao longo do dia.

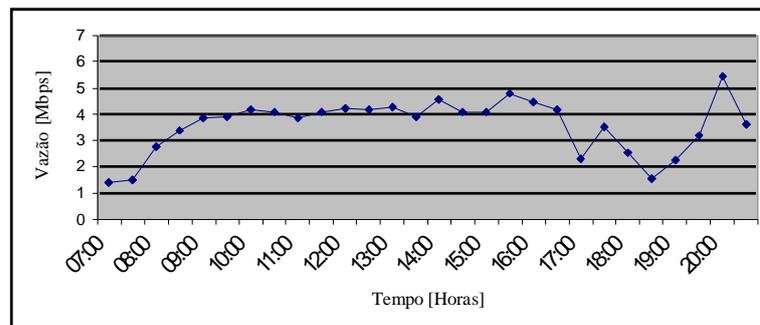


Figura 24 – Vazão do Canal 7

Na figura 25, obtemos a vazão do canal 8. Este canal possui alta vazão em certos momentos do dia, passando os 5 Mbps, porém se mantém inconstante, chegando a cair para baixo dos 2 Mbps às 18:30 horas.

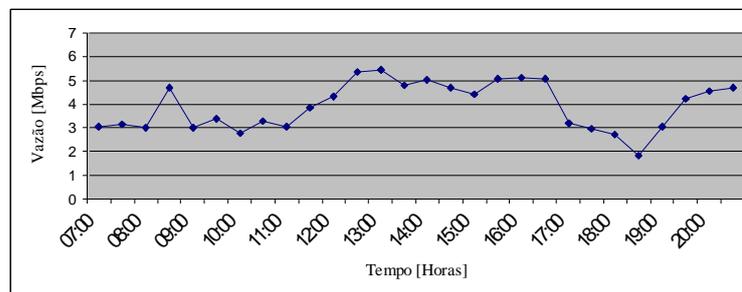


Figura 25 – Vazão do Canal 8

Na figura 26, obtemos a vazão do canal 9. A vazão deste canal se mantém alta ao longo do dia, variando entre 5 a 6 Mbps. Há pouca oscilação no valor da vazão, caracterizando como um canal estável.

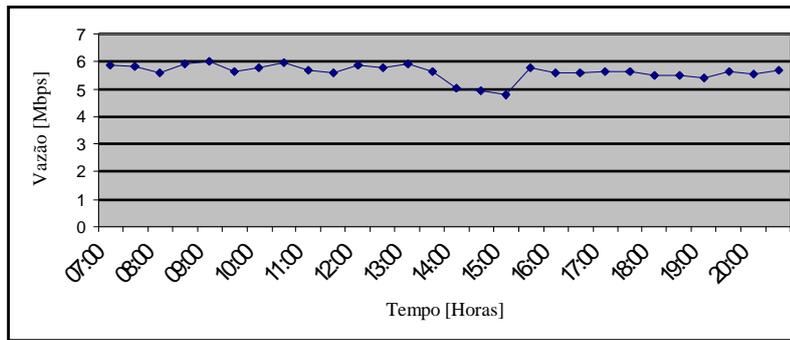


Figura 26 – Vazão do Canal 9

Na figura 27, obtemos a vazão do canal 10. Um canal com vazão alta e estável, variando entre 4,8 Mbps à 6,3 Mbps

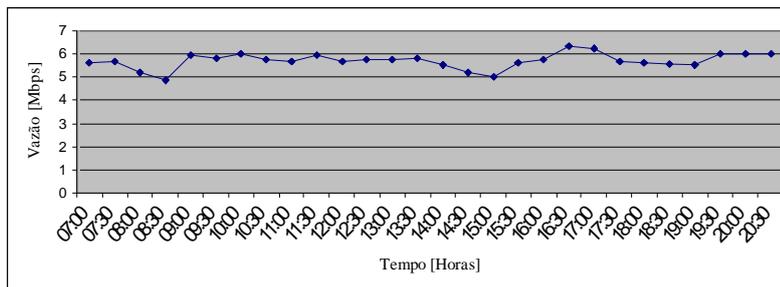


Figura 27 – Vazão do Canal 10

Na figura 28 obtemos a vazão do canal 11. Um canal com alta vazão, variando entre 5,03 a 5,95 Mbps. Um canal com pouca oscilação em relação a sua média de vazão.

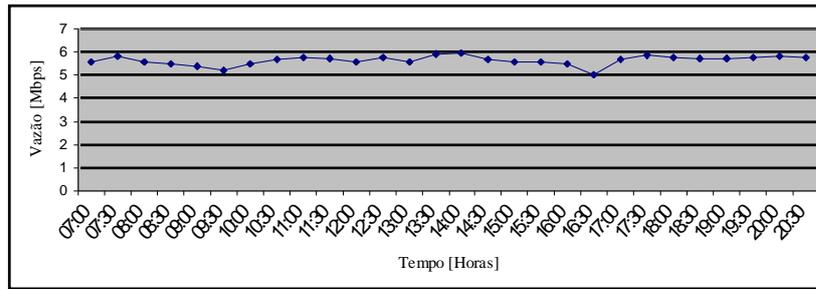


Figura 28 – Vazão do Canal 11

## APÊNDICE 2 – QUANTIDADE DE REDES IEEE 802.11 PRÓXIMAS OPERANDO EM CADA UM DOS CANAIS

Na figura 29, obtemos o gráfico da quantidade de redes IEEE 802.11 operando no canal 1. Note que no dia, o canal 1 chega a ser utilizado por 3 redes vizinhas e, às 16:30 horas, nenhuma rede vizinha opera no canal 1.

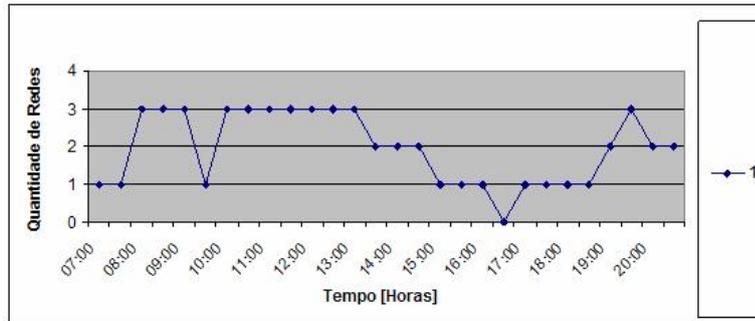


Figura 29 – Quantidade de Redes IEEE 802.11 operando no Canal 1

Na figura 30, obtemos o gráfico da quantidade de redes IEEE 802.11 operando no canal 2. Das 08:30 às 09:00 somente uma rede está operando no canal 2, sendo que no resto do dia, este canal não é utilizado por nenhuma rede IEEE 802.11 operando nas vizinhanças.

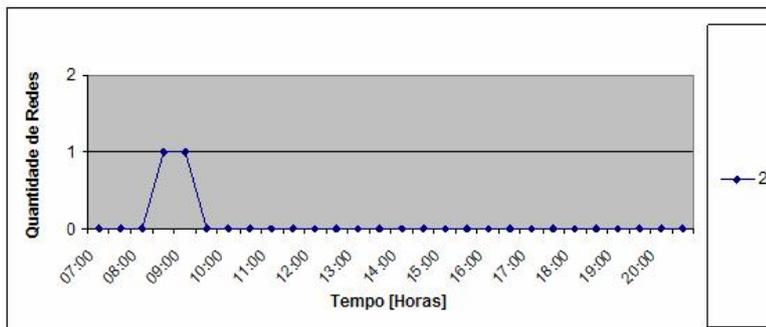


Figura 30 – Quantidade de Redes IEEE 802.11 operando no Canal 2

Na figura 31, obtemos o gráfico da quantidade de redes IEEE 802.11 operando no canal 3. Perceba que, na maioria do tempo, somente uma rede vizinha opera no canal 3.

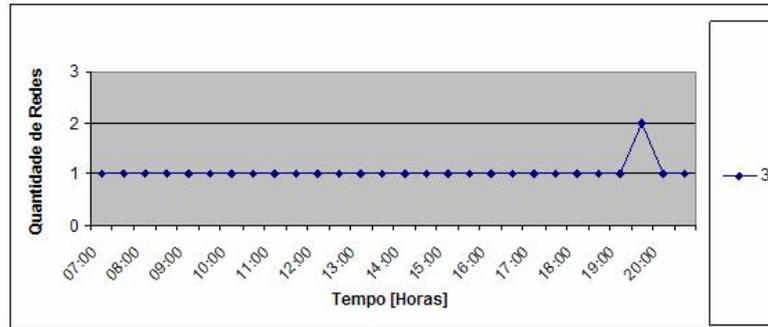


Figura 31 – Quantidade de Redes IEEE 802.11 operando no Canal 3

Na figura 32, obtemos o gráfico da quantidade de redes IEEE 802.11 operando no canal 4. Nenhuma rede IEEE 802.11 é encontrada operando no canal 4.

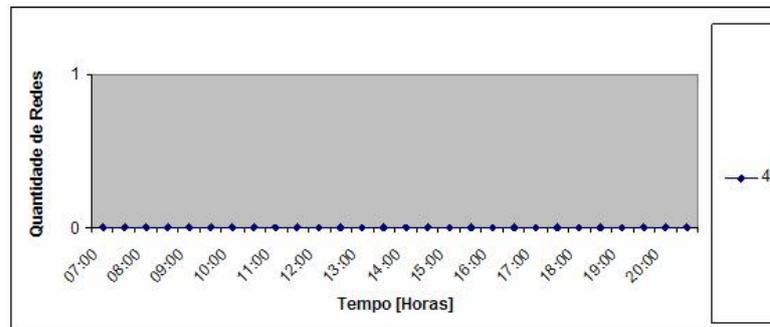


Figura 32 – Quantidade de Redes IEEE 802.11 operando no Canal 4

Na figura 33, obtemos o gráfico da quantidade de redes IEEE 802.11 operando no canal 5. Nenhuma rede IEEE 802.11 é encontrada operando no canal 5.

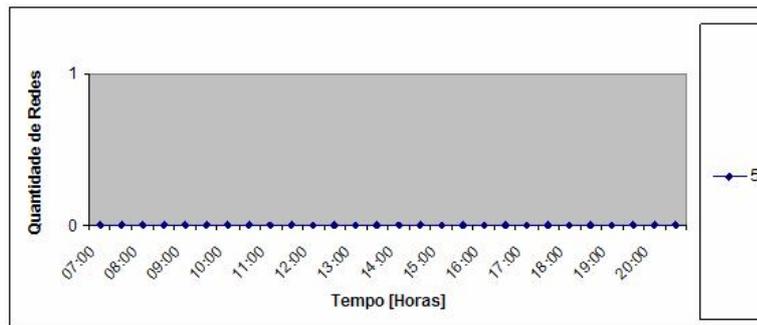


Figura 33 – Quantidade de Redes IEEE 802.11 operando no Canal 5

Na figura 34, obtemos o gráfico da quantidade de redes IEEE 802.11 operando no canal 6. Na maior parte do tempo foi encontrado 9 redes operando no canal 6, chegando a 12 redes às 09:00 horas.

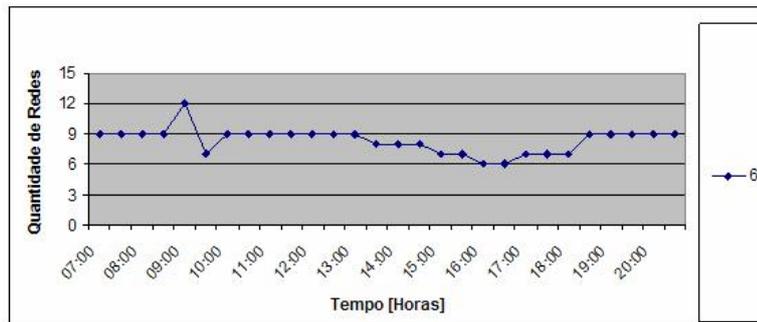


Figura 34 – Quantidade de Redes IEEE 802.11 operando no Canal 6

Na figura 35, obtemos o gráfico da quantidade de redes IEEE 802.11 operando no canal 7. Nenhuma rede IEEE 802.11 é encontrada operando no canal 7.

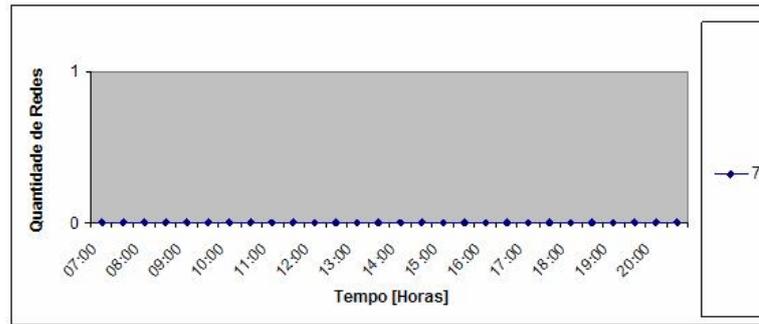


Figura 35 – Quantidade de Redes IEEE 802.11 operando no Canal 7

Na figura 36, obtemos o gráfico da quantidade de redes IEEE 802.11 operando no canal 8. Na maior parte do tempo é encontrado apenas uma rede operando no canal 8 nas proximidades. Entre às 16:30 até às 18:00 horas, duas redes são encontradas operando no canal 8.

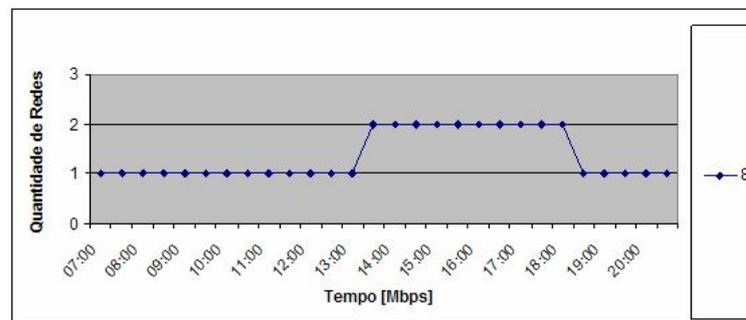


Figura 36 – Quantidade de Redes IEEE 802.11 operando no Canal 8

Na figura 37, obtemos o gráfico da quantidade de redes IEEE 802.11 operando no canal 9. O canal 9 foi utilizado por somente uma rede durante o dia todo.

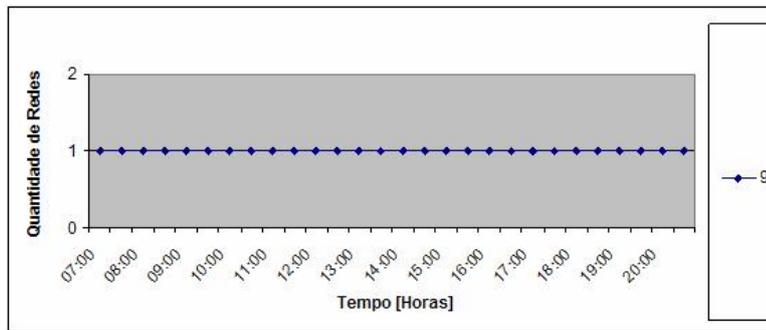


Figura 37 – Quantidade de Redes IEEE 802.11 operando no Canal 9

Na figura 38, obtemos o gráfico da quantidade de redes IEEE 802.11 operando no canal 10. Nenhuma rede IEEE 802.11 é encontrada operando no canal 10.

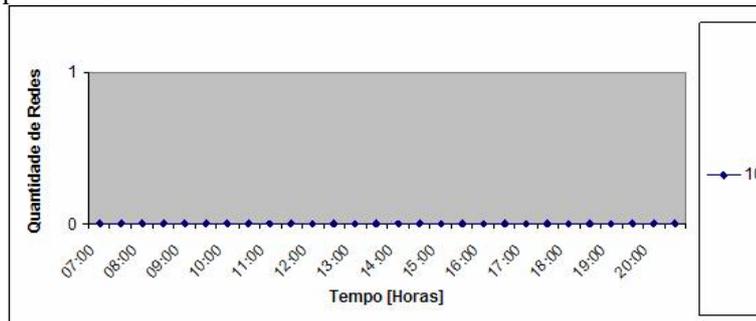


Figura 38 – Quantidade de Redes IEEE 802.11 operando no Canal 10

Na figura 39, obtemos o gráfico da quantidade de redes IEEE 802.11 operando no canal 11. O canal 11 é utilizado por 4 redes às 08:30, chegando a ser utilizado por 8 redes em períodos do dia.

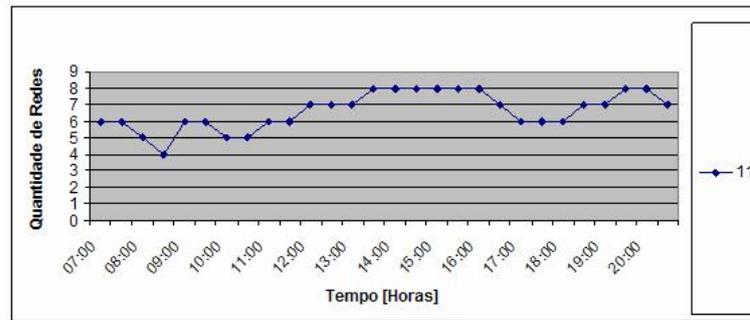


Figura 39 – Quantidade de Redes IEEE 802.11 operando no Canal 11