

MEC-SETEC
INSTITUTO FEDERAL MINAS GERAIS - *Campus* Formiga
Curso de Ciência da Computação

**SOFTWARE LIVRE PARA *WIRELESS SITE*
*SURVEY***

Vinícius de Laet Duarte Batista

Orientador: Prof. M.e Everthon Valadão

FORMIGA - MG

2017

VINICIUS DE LAET DUARTE BATISTA

SOFTWARE LIVRE PARA *WIRELESS SITE*
SURVEY

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Instituto Federal
Campus Formiga, como requisito
parcial para a obtenção do título de
Bacharel em Ciência da Computação.

Orientador: Prof. M.e Everthon Valadão

FORMIGA-MG

2017

Batista, Vinicius de Laet Duarte.

004.67 Software livre para wireless site survey / Vinicius de Laet Duarte
M333s Batista . – Formiga : IFMG, 2017.
60p. : il.

Orientador: Prof. Me. Everthon Valadão
Trabalho de Conclusão de Curso – Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – *Campus* Formiga.

1. Rede sem fio. 2. Wi-Fi. 3. Wireless Site Survey, 4.RSSI.
5. FOSS. I. Título.

CDD 004.67

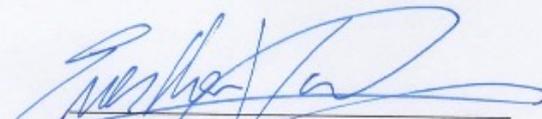
VINÍCIUS DE LAET DUARTE BATISTA

SOFTWARE LIVRE PARA WIRELESS SITE SURVEY

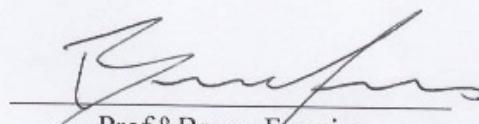
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Federal de Minas Gerais-Campus Formiga, como Requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Ciência da Computação.

Aprovado em: 16 de novembro de 2017.

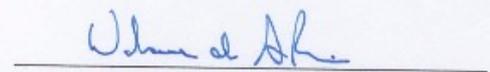
BANCA EXAMINADORA



Prof.º Everthon Valadão dos Santos



Prof.º Bruno Ferreira



Prof.º Wallace de Almeida Rodrigues

Dedico este trabalho aos meu pais que me incentivaram e apoiaram durante mais essa caminhada.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus e aos meus pais que me deram forças para continuar nessa longa jornada. Ao meu orientador e a meus amigos por acreditarem em mim, por me incentivarem mesmo quando eu estava mais desanimado. A todos os professores que me ajudaram de alguma forma durante o desenvolvimento deste trabalho. E sou grato à toda equipe de professores do IFMG que fizeram parte da minha formação tanto intelectual como de caráter. Hoje sou o que sou graças a todos que me apoiaram para chegar até aqui.

Resumo

O *site survey* (ou *wireless survey*) é uma técnica muito importante no projeto de uma rede local sem fio (WLAN). Com ele é possível determinar e antecipar possíveis pontos de falha na cobertura de uma rede Wi-Fi, diagnosticar áreas de sombra, de interferências de sinal e determinar a melhor localização dos pontos de acesso sem fio (APs). Este trabalho de conclusão de curso teve por objetivo desenvolver um software livre de código-fonte aberto (FOSS) para viabilizar a realização de um *Wireless Site Survey*, ou seja, uma avaliação dos sinais Wi-Fi providos por um ou mais APs em determinado ambiente, através de medições da intensidade dos sinais e sua posição no plano, fornecendo uma representação gráfica dos resultados sobreposta à planta-baixa do local. O software desenvolvido foi validado através da comparação das medições realizadas com um simulador da propagação de ondas de radiofrequência, bem como foi testado em edifício da instituição de ensino e em uma residência. O programa compilado e seu código-fonte podem ser obtidos gratuitamente através do repositório GitHub, sob o nome *Wireless Site Survey*. A aplicação desenvolvida demonstrou ter grande potencial, tanto pela precisão dos resultados obtidos e impactos de sua análise quanto pela possibilidade da comunidade de software livre poder contribuir com ajustes e novas melhorias, uma vez que as alternativas são softwares proprietários que custam de centenas a milhares de dólares.

Palavras-chave: Rede sem fio. Wi-Fi. *wireless site survey*. RSSI. FOSS.

Abstract

Wireless Site Survey is very important in designing a wireless network. It is possible to determine and anticipate possible points of failure in the coverage of a Wi-Fi network, diagnose shadow zones, signal interference and determine the best location of access points (APs). This course completion work aims to develop an Free Open Source Software (FOSS) to conduct a Wireless Site Survey, in an evaluation of the Wi-Fi signals provided by one or more wireless APs) in a given location, by measuring the characteristics of the signals and observing their position in the plane, providing a graphical representation of the results superimposed on the site plan. The developed software was validated by comparing the measurements performed with the signal intensity predicted by a radiofrequency propagation simulator, as well as being tested in a educational institution building and in a residence. The compiled program and its source code can be obtained free of charge from the GitHub repository under the name Wireless Site Survey. The developed application has demonstrated great potential both for the accuracy of the results obtained and the impacts of its analysis, as well as for the possibility that the free software community can contribute with adjustments and new improvements, since the alternatives are proprietary software that cost from hundreds to thousands of dollars.

Keywords: Wireless networks. Wi-Fi. *wireless site survey*. RSSI. FOSS.

Lista de ilustrações

Figura 1	– Lista de canais disponíveis para a tecnologia Wi-Fi 2,4 GHz	23
Figura 2	– Lista de canais disponíveis para a tecnologia Wi-Fi 5 GHz	24
Figura 3	– Largura de banda vs utilização de canais Wi-Fi	25
Figura 4	– Coexistência de canais dos padrões Wi-Fi	25
Figura 5	– Diferença de alcance dos padrões Wi-Fi	26
Figura 6	– Decaimento exponencial do sinal Wi-Fi recebido	27
Figura 7	– Exemplo de saída do software iwlist	31
Figura 8	– Heatmaps de sinais coletados	32
Figura 9	– <i>Heatmap</i> da intensidade do sinal (RSSI) por medição (X,Y)	33
Figura 10	– Filtragem da saída do iwlist	35
Figura 11	– Representação do ambiente na interface da aplicação	36
Figura 12	– Pontos das medições efetuadas em um <i>survey</i>	37
Figura 13	– Sobreposição dos pontos de medições ao <i>heatmap</i>	38
Figura 14	– <i>Heatmap</i> com gradiente de cores “roxo amarelo”	39
Figura 15	– <i>Heatmap</i> com gradiente de cores “azul vermelho”	40
Figura 16	– Painéis da interface gráfica (GUI) do software produzido	40
Figura 17	– Sobreposição das imagens em camadas	41
Figura 18	– Fluxograma das etapas para realização do <i>survey</i>	43
Figura 19	– Representação do trajeto da coleta de medições	43
Figura 20	– <i>Heatmap</i> proveniente da coleta de medições	44
Figura 21	– Resultado combinado da coleta de medições	44
Figura 22	– Simulação da intensidade de sinal Wi-Fi	45
Figura 23	– Medição da intensidade de sinal Wi-Fi	46
Figura 24	– Intensidade de sinal da rede wifi-alunos (bloco c, 3º pavimento)	49
Figura 25	– Detalhe da intensidade de sinal em salas periféricas	50
Figura 26	– Detalhe da absorção do sinal por múltiplas paredes	51
Figura 27	– Detalhe do sinal próximo ao elevador	52
Figura 28	– Detalhe de APs bem e mal posicionados	53
Figura 29	– AP bem posicionado	54
Figura 30	– AP mal posicionado	54
Figura 31	– Intensidade de sinal em uma residência	54
Figura 32	– Detalhe com a posição do AP	55
Figura 33	– Detalhe do comodo com a posição do AP	56

Lista de tabelas

Tabela 1 – Padrões IEEE 802.11 e suas características	24
Tabela 2 – Comparação aplicações de <i>wireless site survey</i>	30

Lista de abreviaturas e siglas

AP	Access Point
AWT	Abstract Window ToolKit
BASH	Acrônimo para “Bourne-Again Shell”, é um interpretador de comandos
CPU	Central Processing Unit
dBm	Decibel miliwatt
ESSID	Extended Service Set Identifier (identificador da rede)
FOSS	Free Open Source Software
GHz	Gigahertz
GNU	GNU’s Not Unix, é um sistema operacional tipo Unix cujo objetivo desde sua concepção é oferecer um sistema operacional completo e totalmente composto por software livre.
GUI	Graphical User Interface
IEEE	Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos
MAC	Media Access Control, é um endereço físico associado à interface de comunicação, que conecta um dispositivo à rede.
MIMO	Multiple-input and multiple-output
Mbps	Megabit por segundo
OFDM	Orthogonal frequency-division multiplexing, é um método de codificação digital que utiliza múltiplas subportadoras.
OSI	Open System Interconnection, criado com objetivo de ser um padrão, para protocolos de comunicação entre os mais diversos sistemas em uma rede local (Ethernet), garantindo a comunicação entre dois sistemas computacionais (end-to-end).
PA	Ponto de Acesso
PDCA	PLAN - DO - CHECK - ACT ou Adjust, planejamento, desenvolvimento, validação e ajuste

RAM	Random Access Memory
RCPI	Received Channel Power Indicator
RF	Radiofrequência
RSNI	Received signal to noise indicator
RSSI	Received signal strength indicator
RX	Receiver
SNR	Signal-to-noise ratio
S.O.	Sistema Operacional
TX	Transmitter
W	Watt
WLAN	Wireless Local Area Network (rede de área local sem fio)
WPA	Wi-Fi Protected Access
Wi-Fi	Vem do termo Wireless Fidelity, mas representa uma rede local sem fio

Sumário

1	INTRODUÇÃO	21
1.1	Justificativa	21
1.2	Objetivos	22
1.2.1	Objetivos Específicos	22
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	23
2.1	Padrões Wi-Fi (IEEE 802.11)	23
2.2	Propagação e Atenuação de Sinais de Rádio	26
2.3	Sistemas de <i>Wireless Site Survey</i>	28
2.4	Categorias de <i>Site Survey</i>	29
2.5	Trabalhos relacionados	30
3	METODOLOGIA	31
3.1	Preparação e Projeto	31
3.1.1	Coleta das medições	31
3.1.2	Visualização dos dados	32
3.2	Implementação	34
3.2.1	Interpretação dos dados coletados	34
3.2.2	Filtragem de dados da coleta	35
3.2.3	Representação do ambiente	36
3.2.4	Exibição gráfica dos dados	37
3.3	Verificação	39
3.3.1	Ajustes	39
3.3.2	Teste	43
3.3.3	Validação	45
3.4	Materiais	47
4	RESULTADOS E ANÁLISE	49
4.1	Cenário 1 - pavimento de um edifício	49
4.2	Cenário 2 - uma residência	54
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	57
	REFERÊNCIAS	59

1 INTRODUÇÃO

Wireless Survey é uma forma de inspeção de rede sem fio através da análise da intensidade de sinal Wi-Fi de determinada área ou WLAN específica. A medição é feita pelo canal da banda de frequência, de acordo com o padrão Wi-Fi considerado (2,4 GHz no caso do IEEE 802.11 b/g/n ou 5 GHz no 802.11 a/ac).

Com os dados coletados por uma ferramenta de *wireless survey* é possível analisar um melhor posicionamento para os pontos de acesso (APs) à rede sem fio levando em conta os locais de maior interferência de sinal observados. Também é possível verificar se é necessário o acréscimo do número de APs. O sinal Wi-Fi pode sofrer interferência de qualquer produto capaz de emitir sinais de RF na mesma faixa de frequência do AP que o emite. Geralmente isso ocorre quando algum equipamento também está em uma frequência de 2,4 GHz (ou 5 GHz, conforme o caso).

A aplicação deste método de análise é recomendável quando a rede Wi-Fi em uso apresenta baixa qualidade no canal e/ou queda de desempenho da rede, sem que esta seja causada pelo uso massivo de usuários da rede em questão. O *wireless survey* também é muito utilizado no planejamento de uma nova rede Wi-Fi, por exemplo, evitando-se posicionar os novos equipamentos em locais com preexistência de APs trabalhando na mesma frequência e/ou fontes de ruídos.

Nas seções a seguir serão apresentados os objetivos e justificativas deste projeto, bem como a metodologia para o desenvolvimento de uma aplicação *wireless survey* gratuita e de código fonte aberto, com suporte ao sistema operacional GNU/Linux.

1.1 Justificativa

O site *survey* (ou *wireless survey*) é muito importante no projeto de uma rede sem fio. Com ele é possível determinar e antecipar possíveis pontos de falha na cobertura de uma rede Wi-Fi, diagnosticar áreas de sombra, de interferências de sinal e determinar a melhor localização dos APs, assim como os canais e potencia de transmissão mais adequados. Além disso serve como uma certificação para o ambiente onde a rede *wireless* será instalada.

O intuito da realização deste trabalho é disponibilizar para a comunidade acadêmica e externa uma ferramenta capaz de realizar medições da intensidade de sinal Wi-Fi com precisão e sem limitações na quantidade de pontos coletados, para ser usado em instituições/empresas, mostrando de forma simples e intuitiva os possíveis locais com deficiência de cobertura de sinal Wi-Fi.

De posse do resultado gerado pela ferramenta, o responsável pela rede poderá promover mudanças que visem sanar tais deficiências. Porém esta aplicação não se limita ao uso em apenas empresas ou instituições, ela poderá também ser utilizada pelo usuário residencial que tenha interesse em encontrar uma posição mais apropriada para seu AP(s).

Como as tecnologias Wi-Fi (802.11) têm se popularizado e estão cada vez mais integradas à comunidade em geral, uma ferramenta gratuita para inspeção de redes sem fio será bem vinda. Até onde pudemos verificar não foi encontrado uma ferramenta de *wireless site survey* com suporte para os Sistemas Operacionais GNU/Linux, apenas programas com interface de linha de comando já presentes no S.O., como por exemplo iwlist.

1.2 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho de conclusão de curso é desenvolver um software livre de código-fonte aberto (FOSS) para conduzir um *Wireless Site Survey*, ou seja, uma avaliação dos sinais *wireless* providos por um ou mais APs *wireless* em determinado local, através de medições das características dos sinais e sua posição no plano, fornecendo uma representação gráfica dos resultados sobreposta a planta baixa do local.

1.2.1 Objetivos Específicos

- Criar um software livre para medição de características dos sinais Wi-Fi (ex.: intensidade do sinal, qualidade do sinal, frequência e canal, ESSID da rede, endereço MAC do AP);
- Fornecer mecanismo prático para marcação da posição medida no plano do edifício (ex.: planta-baixa ou esboço), sendo este fornecido como entrada ao software;
- Prover uma visualização gráfica das características dos sinais Wi-Fi, através de mapa de calor (*heatmap*), no resultado final e durante as medições;
- Disponibilizar o software gratuitamente sob licença GPL, de maneira livre e com código-fonte aberto (FOSS), com suporte inicial a sistemas operacionais GNU/Linux.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Padrões Wi-Fi (IEEE 802.11)

Segundo Tay e Chua, devido ao crescimento constante no uso de dispositivos móveis, a expansão de recursos computacionais e a popularização do acesso à internet, há uma necessidade constante destes computadores serem interligados em rede (TAY; CHUA, 2001). A família de padrões IEEE 802.11 para redes sem fio, desenvolvidos por grupos de estudo da IEEE (IEEE, 2016), define as características da camada física, bem como os protocolos de controle de acesso ao meio (MAC) na camada de enlace.

Uma rede local sem fio (WLAN) possui como principal característica transmitir informações sem fio através de ondas de radiofrequência e existe um fator decisivo que divide o padrão IEEE 802.11 em duas classes: a faixa de frequência. Há padrões que operam a 2,4 GHz e outros com 5 GHz. Há de se considerar a questão da diferença de alcance do sinal, uma vez que seria gasta uma quantidade maior de energia para transmitir sinais com uma alta frequência a uma mesma distância. Portanto, reduz-se o alcance esperado dos sinais de 5 GHz para que seja mantido o patamar de consumo energético, mas em troca de uma maior taxa de bits por segundo (bps).

Tais faixas de frequência consistem em uma fatia do espectro de radiofrequência que pode ser utilizado para finalidades de WLAN. Tal fatia é subdividida em canais, para que seja possível haver mais de um AP em um mesmo ambiente. A Figura 1 ilustra a divisão de canais realizada na faixa de frequência de 2,4 GHz, utilizada por equipamentos Wi-Fi 802.11b/g/n, com destaque para a possível coexistência de três APs que utilizem os canais 1, 6 e 11, respectivamente.

Figura 1 – Lista de canais disponíveis para a tecnologia Wi-Fi 2,4 GHz

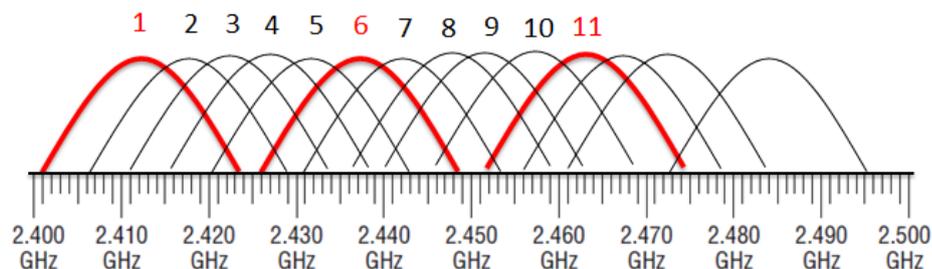
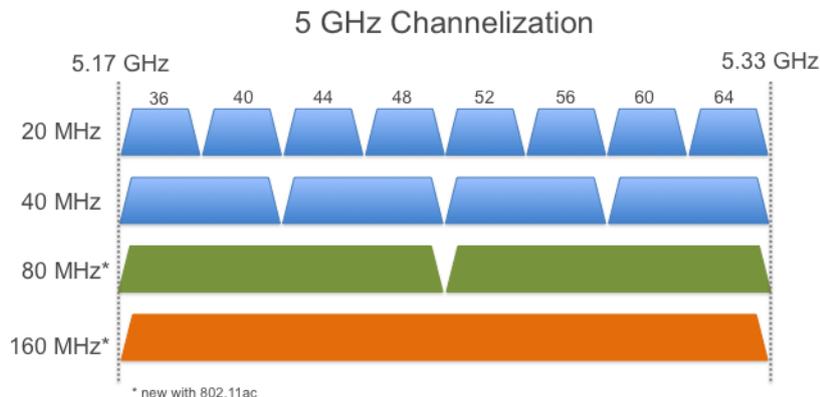


Figura 2 – Lista de canais disponíveis para a tecnologia Wi-Fi 5 GHz



Fonte: Pablo Estrada, 2013

Já a Figura 2 mostra a divisão de canais realizada na faixa de frequência de 5 GHz, utilizada por equipamentos Wi-Fi 802.11a/ac. Além da diferença de faixa de frequência e maior quantidade de canais disponíveis, os padrões Wi-Fi IEEE 802.11 (b/g/n e a/ac) diferem na taxa de transmissão de dados e alcance.

A Tabela 1 apresenta um resumo sobre as características dos principais padrões IEEE 802.11 para rede local sem fio (WLAN).

Tabela 1 – Padrões IEEE 802.11 e suas características

Protocolo 802.11	Frequência (GHz)	Largura de banda (MHz)	Bitrate (Mbit/s)	MIMO	MAC	Alcance Aproximado	
						Indoor (m)	Outdoor (m)
802.11-1997	2,4	22	1 - 2	-	DSSS, FHSS	20	100
a ¹	5	20	6 - 54	-	OFDM	35	120
b ²	2,4	22	1 - 11	-	DSSS	35	140
g ³	2,4	20	6 - 54	-	OFDM	38	140
n ⁴	2,4	20	288,8 (72,2 por fluxo)	Até 4 fluxos	MIMO-OFDM	70	250
		40	600 (150 por fluxo)				
ac ⁵	5	20	Até 346,8	Até 8 fluxos		35	150
		40	Até 800				
		80	Até 1733,2				
		160	Até 3466,8				

Fonte: (GROUP et al., 2010)

Conforme pode ser observado na coluna MAC (Controle de Acesso ao Meio) da Tabela 1, uma grande inovação na tecnologia Wi-Fi surgiu com a utilização de múltiplos fluxos espectrais (tecnologia MIMO - Múltiplas Entradas e Múltiplas Saídas) ao invés de apenas um. Com isso, consegue-se uma maior taxa de dados, proporcional à quantidade

¹ (IEEE, 1999a)

² (IEEE, 1999b)

³ (IEEE, 2003)

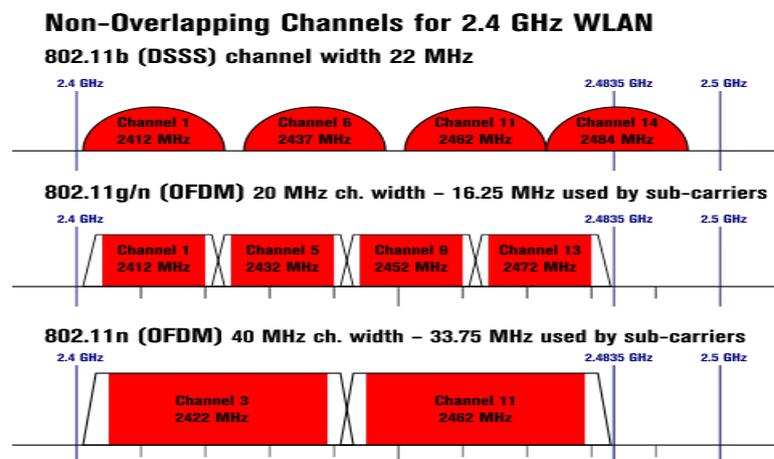
⁴ (IEEE, 2009)

⁵ (IEEE, 2013)

de fluxos MIMOs. Os padrões 802.11n e 802.11ac utilizam-se de MIMO para alcançar taxas de dados de 2 a 8 vezes maiores do que antes era possível.

Nos diferentes padrões Wi-Fi de 2,4 GHz, em virtude de uma maior ou menor utilização da faixa de frequência disponível e de acordo com a largura de banda exigida pelo padrão, apenas de dois a quatro APs podem coexistir em um mesmo ambiente sem interferir entre si, conforme ilustra a Figura 3.

Figura 3 – Largura de banda vs utilização de canais Wi-Fi



Fonte: Liebeskind, 2011

Já os padrões 802.11a/ac, por utilizarem a faixa de frequências de 5 GHz, maior e menos congestionada que 2,4 GHz, sofrem em menor grau com interferências alheias, podendo alcançar taxas de bits/segundo maiores. A Figura 4 ilustra a grande diferença na quantidade de canais (com coexistência) nas faixas de 2,4 GHz e 5 GHz.

Figura 4 – Coexistência de canais dos padrões Wi-Fi



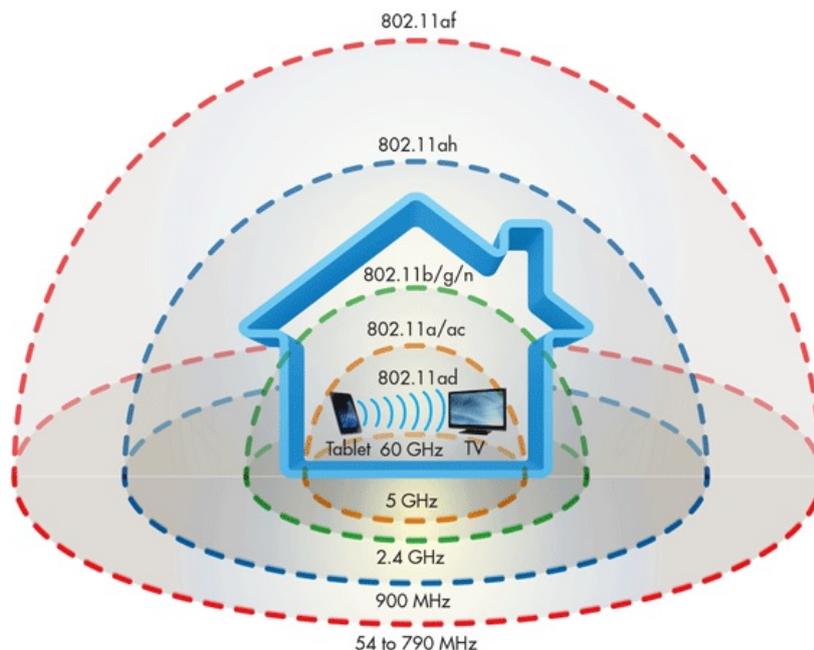
Fonte: Metageek, 2017

2.2 Propagação e Atenuação de Sinais de Rádio

A propagação de uma onda de rádio é feita isotropicamente a partir da fonte de irradiação, com raios dispersando em todas as direções. A propagação da onda está sujeita aos fenômenos físicos de: dispersão,refração, difração e reflexão, o que pode levar a perda de intensidade e atenuação do sinal transmitido. Além destes fenômenos, uma onda está sujeita ao meio em que ela é propagada e às possíveis fontes de ruído para o sinal, tais como cabeamento elétrico ou próximo ao transmissor, motores, metais, concreto, entre outras fontes. Estes obstáculos/fontes de ruído podem interferir, absorver ou refletir parcialmente o sinal de transmissão e continuar a propagar o sinal atenuado (RAPPAPORT, 2009).

Assim, a opção pela utilização de uma frequência duas vezes mais alta (5 GHz ao invés de 2,4 GHz) faz com que o comprimento de onda seja duas vezes menor (6 cm em relação a 12,5 cm), de maneira que paredes, móveis e outros obstáculos passem a obstruir/absorver mais os sinais. Tais obstáculos afetam as redes sem fio 802.11a/ac em maior grau do que as redes 802.11 b/g. Isso faz com que os sinais de Wi-Fi de 5 GHz fiquem mais “contidos” no ambiente devido ao seu alcance menor, mas por outro lado, gerando menos interferência em outros ambientes. A Figura 5 ilustra os diferentes alcances esperados para os padrões de rede sem fio IEEE 802.11.

Figura 5 – Diferença de alcance dos padrões Wi-Fi

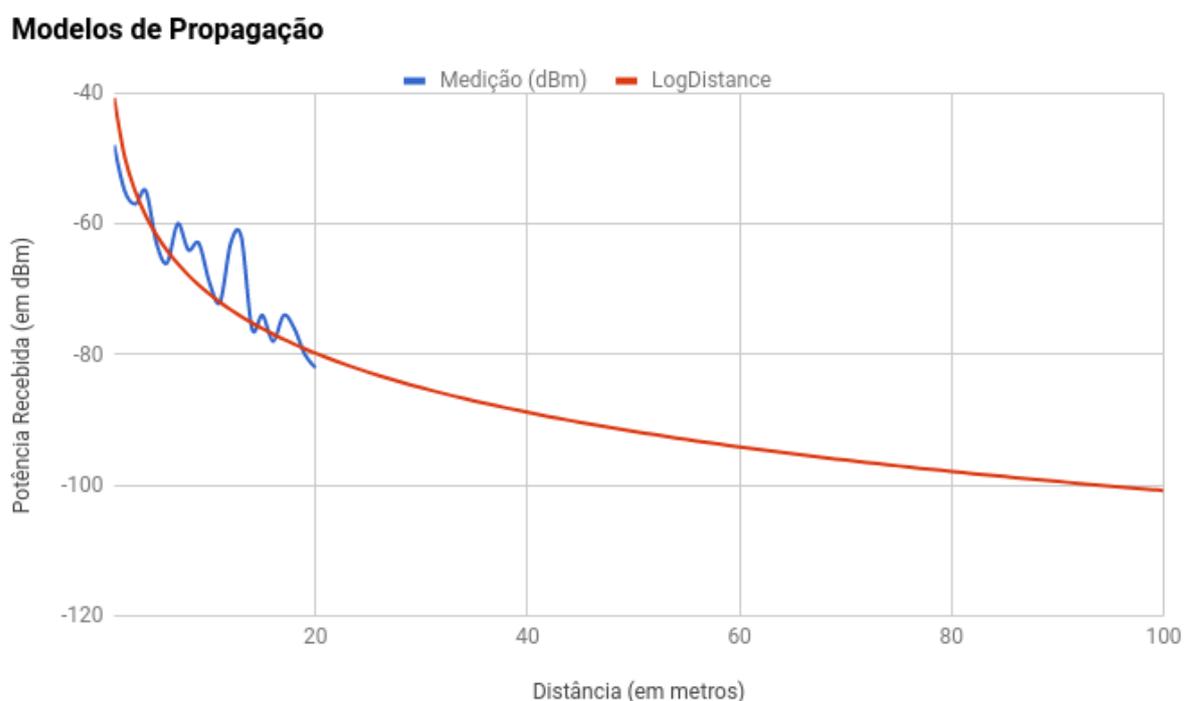


Fonte: Najib Khalaf, 2016

Outro ponto importante a ressaltar é que existe perda de sinal proporcional a dis-

tância do receptor em relação ao transmissor: a distância que um raio é capaz de alcançar está limitada a quantidade de energia necessária para o transmissor conseguir enviar o sinal. Assim, quanto maior a potência de transmissão maior será o alcance. Entretanto, os órgãos reguladores como a FCC e ANATEL definem limites para a quantidade de energia que pode ser irradiada pelos equipamentos de transmissão. Assim, o sinal transmitido terá um alcance máximo de recepção pelo fato de enfraquecer-se ao longo do trajeto, até atingir um nível de potência fraco demais para a sensibilidade do equipamento receptor.

Figura 6 – Decaimento exponencial do sinal Wi-Fi recebido



Fonte: o Autor

A Figura 6 apresenta o decaimento da potência de sinal Wi-Fi ao longo dos 100 metros do alcance previsto para WLANs. A curva azul representa medições realizadas no *campus*, ao longo de um corredor de 20 metros. Já a curva vermelha, ao longo de todos os 100 metros corresponde à previsão de decaimento energético de acordo com um modelo de propagação de sinais de radiofrequência, conhecido na literatura como LogDistance (RAPPAPORT, 2009). Observe que a 100 metros, o nível de sinal esperado seria menor que -100 dBm, valor inferior à sensibilidade típica de -90 dBm de equipamentos com suporte a Wi-Fi como *smartphones* e *notebooks*.

2.3 Sistemas de *Wireless Site Survey*

Wireless Survey ou *Site Survey* é uma técnica que pode ser utilizada para medir e visualizar os níveis de intensidade do sinal de rede local sem fio (WLAN) nos diversos ambientes de um edifício. Segundo Rodrigues,

Wireless Site Survey, é um conjunto de métodos aplicados na avaliação técnica minuciosa do local de instalação de uma nova infraestrutura de rede *wireless*, na observação dos resultados obtidos das melhorias de uma infra-estrutura já utilizada ou, ainda, na detecção e resolução de possíveis problemas em um sistema ativo. Esses processos são efetuados, normalmente, durante o estudo de viabilidade do projeto, seja no levantamento da infra-estrutura necessária ou na instalação de uma nova rede estruturada, de equipamentos transmissores de radiofrequência e redes *wireless*. (RODRIGUES; SANTOS, 2007)

Analisando o resultado de tal levantamento, a partir de uma visualização gráfica das informações de sinal *wireless* é possível verificar os ambientes que estão com boa cobertura de sinal Wi-Fi, bem como aqueles que possuem níveis de sinal muito fracos ou mesmo zonas de sombra (quando o sinal estiver abaixo da sensibilidade do equipamento). Considere que,

Por meio da análise destes recursos é possível entender seu comportamento, descobrir áreas cobertas, checar interferências de radiofrequência, indicar a disposição apropriada dos dispositivos wireless, determinar o melhor aproveitamento do local estudado quanto à cobertura e eficiência de sinais, bem como em relação à redução dos custos de investimento. (RODRIGUES; SANTOS, 2007).

Apesar de ser bem difundida na comunidade de TI, por vezes tal técnica passa despercebida ao usuário leigo, na avaliação da cobertura de Wi-Fi em instalações domésticas ou institucionais. Com uma representação visual dos dados numéricos coletados (sobre a intensidade do sinal em cada posição aferida), pode-se observar que existem muitas áreas de sombra onde deveria haver cobertura de sinal Wi-Fi ou então que um único AP centralizado proveja cobertura abrangente mas com sinal muito fraco na periferia do pavimento de um edifício (ex.: sala de professores no bloco A do *campus* Formiga). Nestes e em outros casos, através dos resultados do *wireless survey* é possível tomar decisões como aumentar o ganho das antenas (e conseqüentemente o alcance) dos equipamentos já instalados ou, então, realizar um planejamento e compra de mais equipamentos, aumentando a área coberta e sua qualidade de sinal. Em seu trabalho sobre *Wireless Survey*, Santos e Rodrigues afirmam que:

Se um único AP não produzir cobertura suficiente para todos os dispositivos da rede, uma quantidade de células (área de cobertura do AP) pode ser adicionada para aumentar a abrangência da rede Wi-Fi. É recomendado que os APs de uma mesma rede tenham de 10 a 15% de sobreposição para permitir que usuários remotos transitem sem perda de conexão e com garantia de cobertura de sinal de RF⁶. Os APs que fazem fronteira uns com os outros devem ser colocados em diferentes canais de transmissão para obtenção de melhor desempenho, evitando interferências intercanais. (RODRIGUES; SANTOS, 2007).

2.4 Categorias de *Site Survey*

O *Site Survey* é capaz de identificar possíveis zonas de interferência/ruído presentes no local de avaliação por meio da análise dos resultados obtidos em uma coleta. Existem duas categorias de avaliação:

Indoor “consiste em realizar a inspeção de redes *wireless*, buscando interferências, localização de *access points* e disposição geográfica de APs. Esse tipo de inspeção fornece gráficos de intensidade de sinais, mais práticos de serem analisados, visto que as pesquisas são realizadas em espaços relativamente pequenos. As fontes de interferências são menores nesses ambientes, o que facilita a escolha de antenas e dispositivos transmissores e receptores”.

Outdoor “consiste em realizar a inspeção de redes *wireless* em um âmbito muito maior que o existente na modalidade *indoor*, por meio de interferências mais complexas. Busca-se determinar a localização e posição de *access points* e das antenas de transmissão de grande porte, com base na disposição geográfica dos dispositivos e dos demais aspectos de inspeção do *site survey*. Geralmente, é realizado em projetos ou redes de grande porte que possuem diversas interligações com diferentes redes localizadas em áreas distantes”. (GEIER, 2002 apud RODRIGUES; SANTOS, 2007).

Durante a avaliação do sinal Wi-Fi, informações que podem ser consideradas importantes para análise dos resultados da medição realizada são:

- pontos de acesso (APs) - analisar se as posições dos transmissores de sinal estão de fato em uma localização que propicie boa intensidade e qualidade de sinal;
- nomes das redes sem fio (SSID) - verificar se determinada rede tem uma boa cobertura na área em avaliação;

⁶ RF: radiofrequência

- frequências utilizadas por cada AP - serve para identificar possíveis interferências entre APs que estão transmitindo na mesma frequência;
- em qual canal cada AP está operando - se um AP estaria transmitindo em uma frequência demasiado próxima, causando interferências intercanais.

2.5 Trabalhos relacionados

A Tabela 2 apresenta os softwares relacionados, para condução de *Wireless Site Survey*. Observe que o software desenvolvido neste trabalho de conclusão de curso (TCC) é gratuito, livre e de código-fonte aberto (FOSS), grande diferencial em relação às soluções comerciais disponíveis até então.

Tabela 2 – Comparação aplicações de *wireless site survey*

Produto	Sistema Operacional	Licença	Preço (Dólar \$)
AirMagnet Survey	Windows	Proprietária	U\$ 3,447.00
Ekahau Site Survey	Windows / MacOS (beta)	Proprietária	U\$ 2,295.00
iBwave Wi-Fió	Windows / Android	Proprietária	U\$ 1,495.00
TamoGraph Site Survey	Windows	Proprietária	U\$ 899.00
VisiWave Site Survey	Windows	Proprietária	U\$ 549.00
NetSpot WiFi Site Survey	Windows / MacOS	Proprietária	U\$ 149.00 ⁷
Meritech ISite	Windows	Proprietária	U\$ 495.00
Software do autor, apresentado neste TCC	GNU LINUX	LIVRE	GRATUITO

Fonte: Wikipedia, 2017

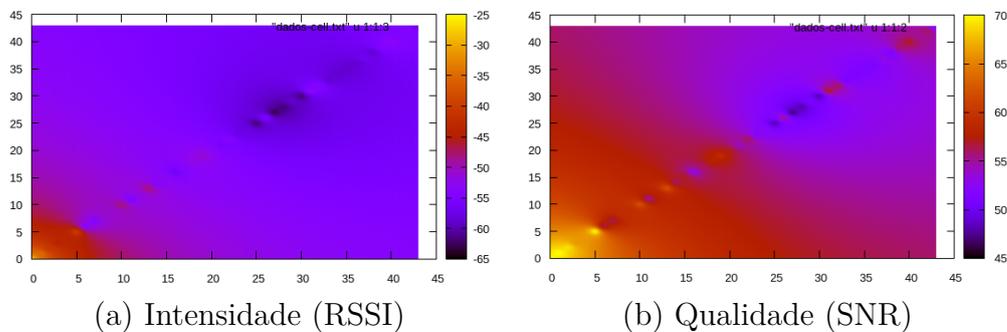
⁷ há versão gratuita para uso caseiro, no Windows

3.1.2 Visualização dos dados

Foram pesquisados métodos de visualização da intensidade do sinal *wireless*, tais como, por exemplo, mapas de calor (*heat map*), isolinhas (*countour line*) e gráficos de superfície (*surface plot*), e para esta aplicação foi adotado o mapa de calor utilizando uma biblioteca Java para interação com o GNUPLOT por meio da interpolação dos dados coletados e devidamente filtrados gera o *heatmap*.

Mesmo que não esteja disponível a posição no plano de cada medição efetuada, um *heatmap* auxilia na visualização dos dados coletados, conforme ilustra a Figura 8. A imagem exhibe a visualização de um dos primeiros experimentos, realizado no corredor do segundo pavimento do bloco A.

Figura 8 – Heatmaps de sinais coletados



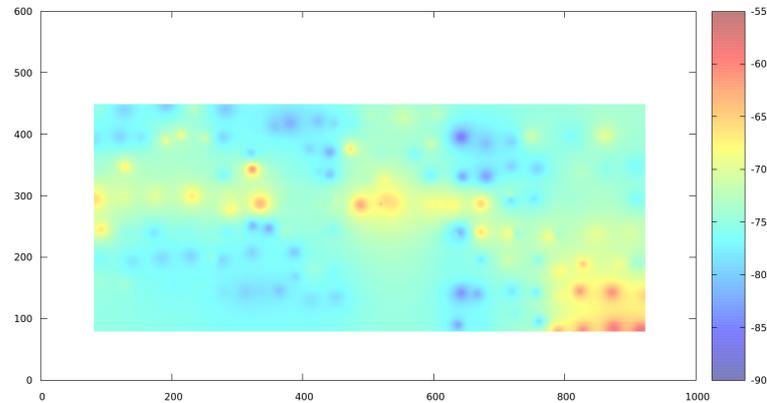
Fonte: o Autor

As medições deste teste foram realizadas em linha reta. Os dados foram filtrados para exibir informações de um único AP. Na imagem, ambos os eixos X e Y representam a ordem em que as medições foram coletadas, de maneira que formam uma linha diagonal pela distância ter sido incrementada gradualmente ao longo da medição, em passos equidistantes. Note o decaimento da intensidade do sinal Wi-Fi através do gradiente de cores padrão gerado, de acordo com o nível de sinal aferido, em dBm (decibel miliwatt). Observe que as “manchas mais escuras” representam fontes de interferência do sinal observadas no trajeto da medição: portas (abertas ou fechadas) ao longo do corredor em que o *survey* foi conduzido.

As cores escolhidas na Figura 9 servem para melhor representar visualmente a intensidade de sinal em uma determinada área, nas quais um valor mais próximo da cor vermelha representa um sinal mais forte/quente o que significa que está mais perto do AP ou recebendo uma maior intensidade de sinal e quanto mais próximo de azul representa um sinal mais fraco/frio, o que significa que está mais distante ou sofre mais interferência na recepção do sinal. Com este *heatmap* seria possível interpretar a imagem sobreposta a uma planta do local inspecionado e relatar possíveis equívocos no posicionamento dos APs Wi-Fi e ainda sugerir um reposicionamento ou reajuste (ex.: mudar a frequência ou

canal em que o AP trabalha) para os mesmos.

Figura 9 – *Heatmap* da intensidade do sinal (RSSI) por medição (X,Y)



Fonte: o Autor

Outra informação importante que deve ser observada na Figura 9 é que a diferença na coloração se dá em *decibel miliwatt* (dBm) e, muitas vezes, esses valores parecem ter uma pequena diferença entre si quando na verdade são ordens de grandeza. O decibel (dB) é uma unidade logarítmica que indica a proporção de uma quantidade física (geralmente energia ou intensidade) em relação a um nível de referência especificado ou implícito. Uma relação em decibels é igual a dez vezes o logaritmo de base 10 da razão entre duas quantidades de energia.

Equação para conversão de dBm para Watts:

$$P(W) = 1W \cdot 10(P(dBm) / 10) / 1000 = 10((P(dBm) - 30) / 10)$$

Tal diferença pode ser observada no exemplo abaixo, onde o valor do sinal expresso em dBm é convertido em miliwatts (mW). Foram convertidos os valores extremos do gráfico apresentado na Figura anterior (-55 e -90 dBm).

- -55 dBm = $3,162 \times 10^{-9}$ W (watts) ou 0,000003162 (mW);
- -90 dBm = $1,00 \times 10^{-12}$ W (watts) ou 0,000000001 (mW).

3.2 Implementação

3.2.1 Interpretação dos dados coletados

A medição da intensidade do sinal e outras características é realizada através de serviços do sistema operacional GNU/Linux, utilizando o `iwlist scanning` e `GNUPLOT`. O `iwlist` é responsável pela coleta das informações. Abaixo é apresentada uma explicação acerca das informações contidas em uma saída do `iwlist` conforme ilustrado anteriormente na Figura 7:

- **Cell 01 - Address:** 18:8B:9D:69:EF:F6 -> Ordem de aparecimento do AP na varredura (*scanning*) e seu endereço MAC;
- **Channel:** 44 -> O canal no qual o AP está atuando no momento da medição;
- **Frequency:** 5 GHz (Channel 44) -> Frequência de transmissão que o AP está utilizando;
- **Quality:** 41 -> O quanto o sinal recebido está mais forte que a interferência observada, ou seja, neste caso a relação de sinal para ruído (SNR) é de 41 vezes. Recentemente definido pelo IEEE 802.11k² como RSNI (*Received Signal to Noise Indicator*);
- **Signal level:** -69 dBm -> Intensidade de sinal (potência) recebida do transmissor, conhecido como RSSI (*Received Signal Strength Indicator*) e mais recentemente definido pelo IEEE 802.11k como RCPI (*Received Channel Power Indicator*);
- **Encryption key:** on -> Indica se o AP possui algum tipo de criptografia ou não;
- **ESSID:** “wifi-alunos” -> Nome da rede anunciada pelo AP;
- **Bit Rates:** 12 Mb/s; 18 Mb/s; 24 Mb/s; 36 Mb/s; 48 Mb/s -> Taxas de transmissão suportadas pelo AP ;
- **IE:** IEEE 802.11i/WPA2 Version 1 -> Indica o padrão de criptografia utilizado.

Durante a coleta dos dados para cada local de medição é marcado um ponto na tela que representa a posição em escala na planta-baixa carregada na interface gráfica do software, ou seja, o lugar que estiver marcado por um ponto no mapa representa o local real em que o usuário se encontrava em relação a planta do local de avaliação.

² (IEEE, 2008)

3.2.2 Filtragem de dados da coleta

No *script* para filtrar³ do iwlist as informações relevantes, os filtros escolhidos foram: endereço MAC do AP (Cell), canal (Channel), frequência (Frequency), qualidade do sinal (Quality) e nome da rede (ESSID).

Figura 10 – Filtragem da saída do iwlist

```
Cell 01 - Address: 30:B5:C2:BB:82:F2
          Channel:9
          Frequency:2.452 GHz (Channel 9)
          Quality=60/70  Signal level=-50 dBm
          ESSID:"Vinicius023"
  ..
```

Fonte: o Autor

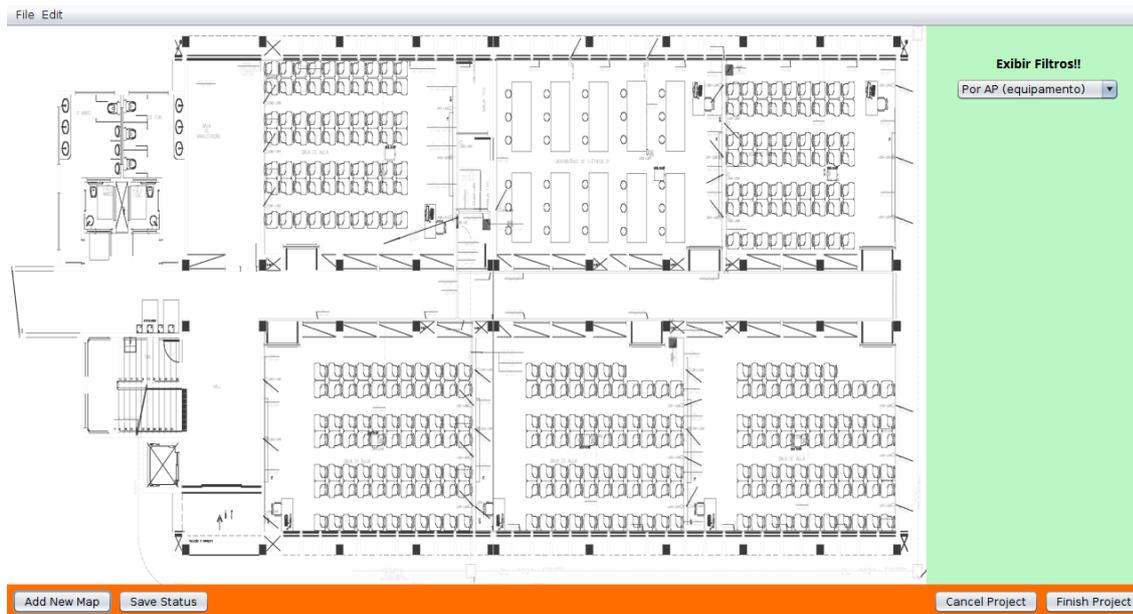
A Figura 10 exibe uma amostra das informações filtradas. Vale notar que apesar de termos todas as informações salvas, algumas das informações coletadas tais como taxas de bits, tipo de criptografia e protocolo de segurança, não serão apresentados ao usuário como opções para filtrar os dados para gerar o mapa de calor da coleta.

³ Disponível em: <<https://github.com/vinicius023/Wireless-Site-Survey/blob/master/WirelessSurveyTCC/filtra-iwlist.sh>>

3.2.3 Representação do ambiente

Para a representação do ambiente a ser avaliado, é utilizada uma imagem (JPEG ou PNG) como entrada. Esta imagem é carregada em memória e exibida na interface gráfica para o usuário. A Figura 11 ilustra a representação gráfica do ambiente a ser analisado, dentro da interface gráfica do software produzido neste TCC.

Figura 11 – Representação do ambiente na interface da aplicação

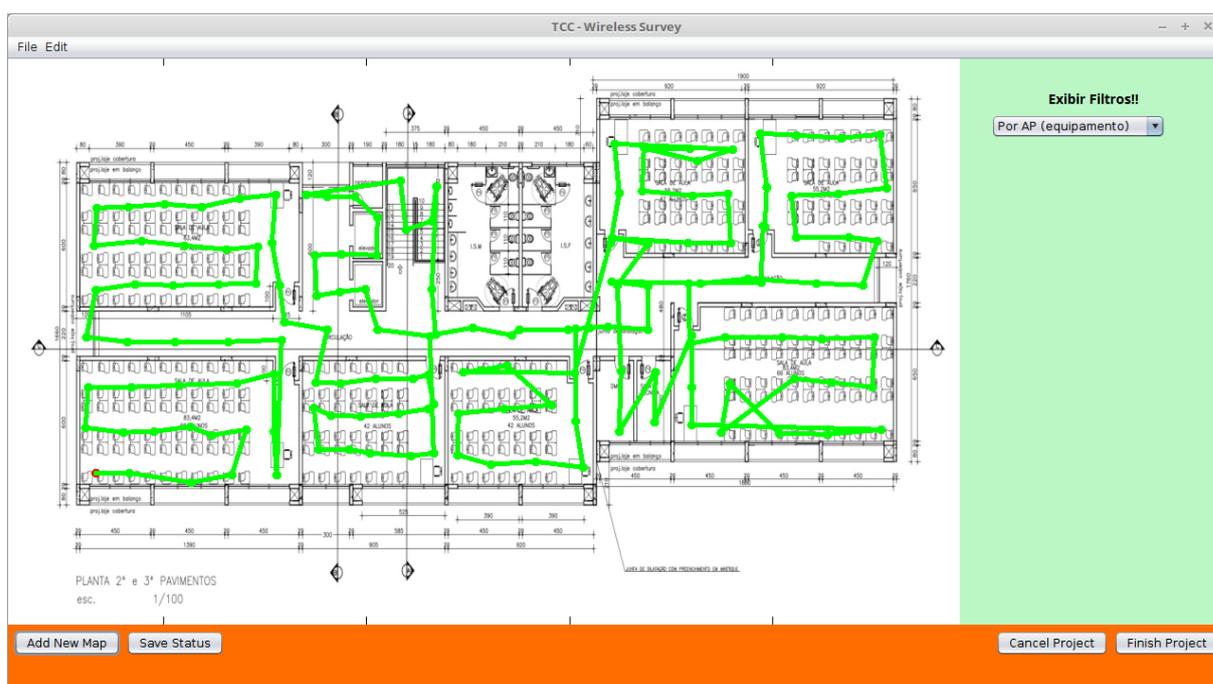


Fonte: o Autor

Foi estipulado que o tamanho do painel que irá exibir a planta-baixa do edifício teria um valor fixo, de modo a evitar problemas que poderiam ser causados por uma mudança de escala, para medições previamente coletadas no mesmo ambiente.

A entrada fornecida pelo usuário deverá ser uma representação visual da planta baixa do ambiente a ser analisado. O motivo é facilitar a localização do usuário no plano durante a realização do *survey*, bem como viabilizar a interpretação das medições coletadas. Cada medição é registrada com a indicação (em uma interface gráfica) de qual ponto do ambiente ela foi realizada, conforme ilustra a Figura 12.

Figura 12 – Pontos das medições efetuadas em um *survey*

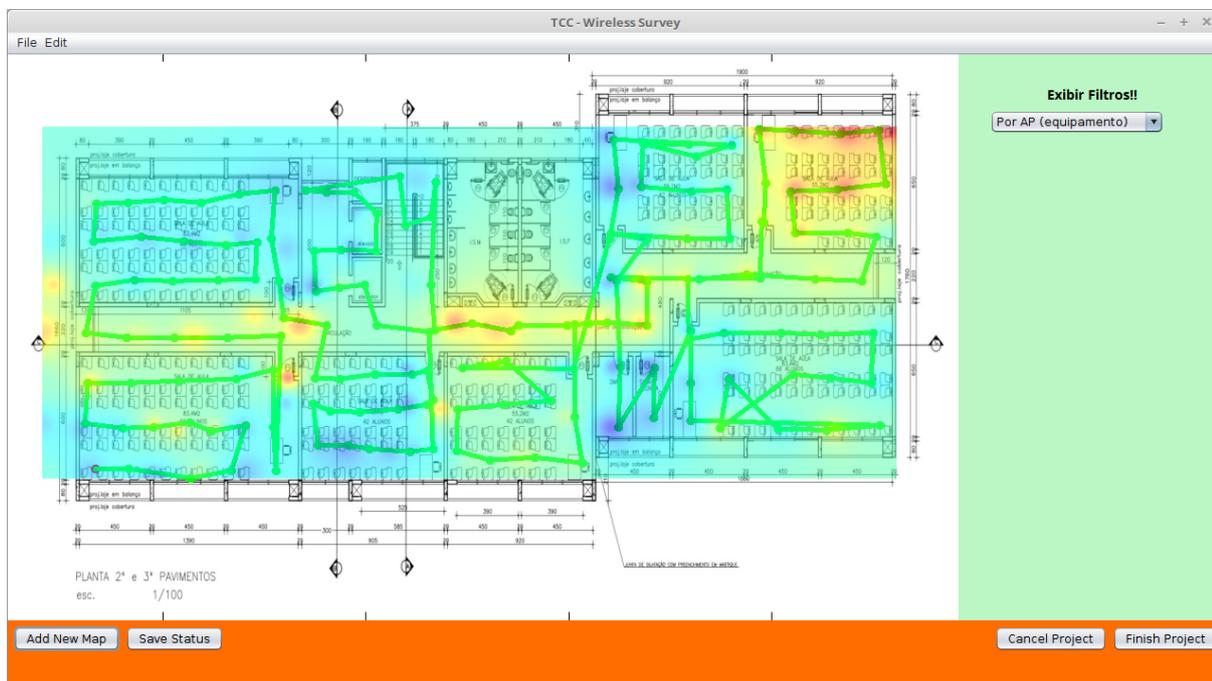


Fonte: o Autor

3.2.4 Exibição gráfica dos dados

Por fim, o resultado final de todas as medições realizadas é apresentado através de uma visualização gráfica. Devidamente calculada a interpolação entre as medidas coletadas pelo iwlist e filtradas pelos *scripts bash* desenvolvidos, somado ao uso de um mapa de calor provido pelo GNUPLOT, o resultado (separados por camadas) é exibido na interface gráfica da aplicação (GUI), conforme ilustra a Figura 13.

Figura 13 – Sobreposição dos pontos de medições ao *heatmap*



Fonte: o Autor

Na Figura 13 é possível notar as sobreposições de camadas, onde: na camada inferior é carregada uma planta-baixa do local de *survey*; a segunda camada consiste no *heatmap* gerado e a terceira e última camada fica encarregada de exibir os locais das medições realizados. De posse de tal resultado, é possível analisar a cobertura e localização dos APs Wi-Fi. Por exemplo, pode-se observar na escala de cores a perda de intensidade (com o aumento da distância) e a atenuação do sinal (pelos obstáculos), no percurso desde o AP Wi-Fi até determinada medição efetuada pelo usuário (ALMERS et al., 2007; LENTZ, 2003; SANDEEP et al., 2008).

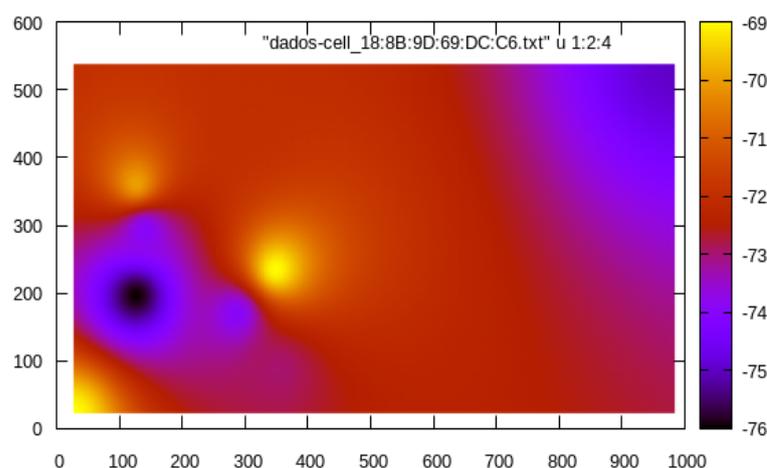
3.3 Verificação

3.3.1 Ajustes

Durante e após a implementação do mecanismo de coleta de medições e sua interface gráfica, os resultados obtidos foram utilizados para ajustar o software desenvolvido, num processo de melhoria contínua visando que a solução fosse apresentada de maneira mais intuitiva.

A princípio houve a tentativa de gerar o mapa de calor utilizando a biblioteca Java AWT⁴, mas devido à demora apresentada no tempo de renderização da mesma e baixa resolução da imagem gerada, considerando a facilidade e qualidade que o GNUPLOT havia proporcionado este foi adotado como o método para gerar a visualização da intensidade dos sinais aferidos. Inicialmente, os *heatmaps* eram gerados com as cores *default* do GNUPLOT (gradiente roxo para amarelo), conforme ilustra a Figura 14.

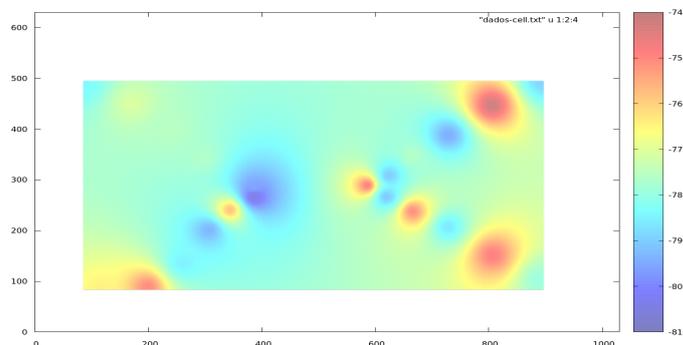
Figura 14 – *Heatmap* com gradiente de cores “roxo amarelo”



Fonte: o Autor

Após comparação com a escala de cores utilizada pelos trabalhos relacionados e visando prover uma melhor interpretação, foi utilizado um novo esquema de cores (gradiente azul para vermelho). Tal gradiente remete a “quente e frio”, melhor simbolizando a intensidade de sinal com o aumento da distância (perto ou longe) da fonte de radiação de sinal. A Figura 15 ilustra a escala de cores “frias” e “quentes” utilizada.

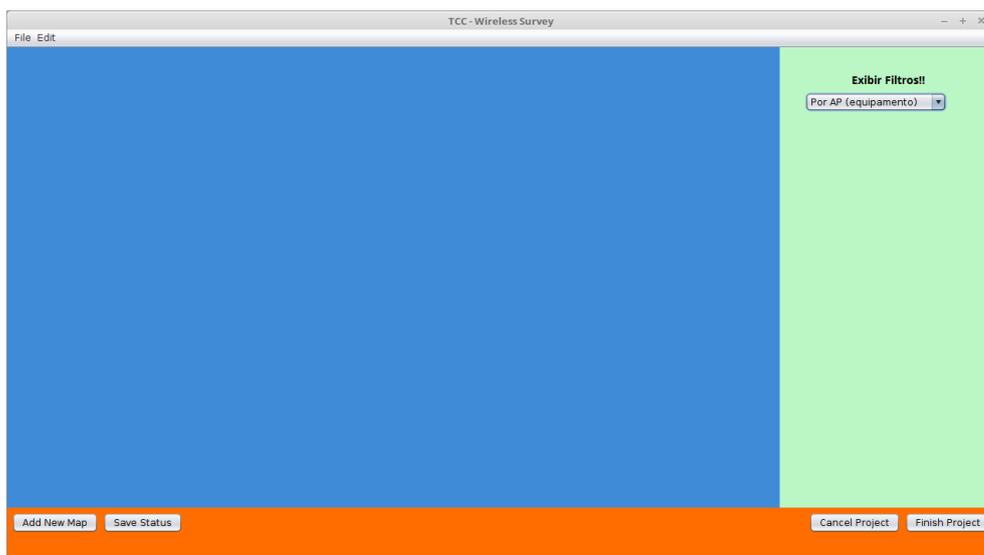
⁴ Abstract Window ToolKit

Figura 15 – *Heatmap* com gradiente de cores “azul vermelho”

Fonte: o Autor

Outros tratamentos necessários foram um corte e uma inversão na imagem gerada pelo GNUPLOT. O corte foi necessário, pois os valores e os eixos da imagem gerada pelo GNUPLOT não se encaixavam bem na sobreposição da planta-baixa exibida na GUI. A inversão de eixo foi devido ao fato dos pontos serem coletados em uma tela em Java, onde os valores de X crescem da esquerda para direita e de Y de cima para baixo (origem no canto superior esquerdo), enquanto que o GNUPLOT pressupõe que o eixo Y cresce de baixo para cima (origem no canto inferior esquerdo).

Figura 16 – Painéis da interface gráfica (GUI) do software produzido



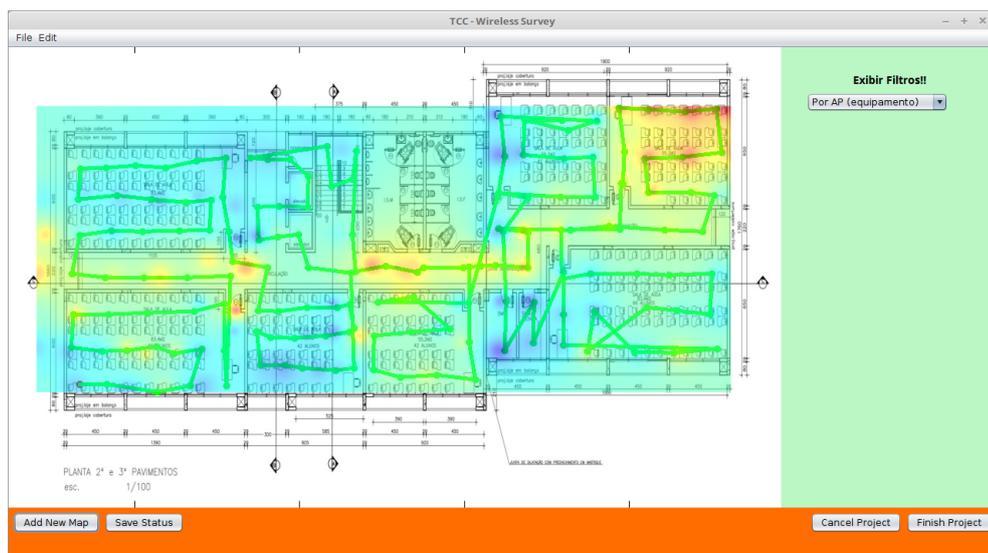
Fonte: o Autor

Durante o desenvolvimento da interface surgiu a necessidade de criar uma área específica para a exibição gráfica dos mapas e condução do *survey* (área em azul da Figura 16). Porém, no início, quando os pontos eram coletados só havia um evento que capturava o clique do mouse e este evento pegava a posição em qualquer área da janela principal (soma das áreas azul, laranja, verde e menu superior). Isso gerava o problema de pontos fora da medição atrapalharem a interpretação da imagem gerada pelo GNUPLOT, que deixava fora de escala o *heatmap*. Esse problema pode ser resolvido, pois na biblioteca Java *Swing* basta definir de qual componente da GUI o evento do mouse deverá ser capturado (no caso o painel em azul).

Com a padronização do sistema de coordenadas, teve início o desenvolvimento de um método para renderizar a representação do ambiente na GUI sem que a imagem da planta-baixa fosse cortada. Para isso ela é carregada e redimensionada em como uma nova imagem, mantendo a integridade do arquivo original e proporcionando a escala necessária para que a medição conduzida pela GUI corresponda ao visualizado.

Durante o processo de sobreposição de imagens, tivemos que fixar a resolução máxima do tamanho do painel com a planta-baixa para o mesmo valor limite que o GNUPLOT permite para os eixos X e Y de um *heatmap*, sendo esses valores 1000 por 1000 (x e y menores ou iguais a 1000). Tal ajuste foi necessário para igualar a escala da planta com a escala do *heatmap*, de maneira que o painel com a representação do ambiente teve sua resolução fixada em 1000 x 600, de maneira que toda nova imagem carregada será redimensionada para este tamanho.

Figura 17 – Sobreposição das imagens em camadas



Fonte: o Autor

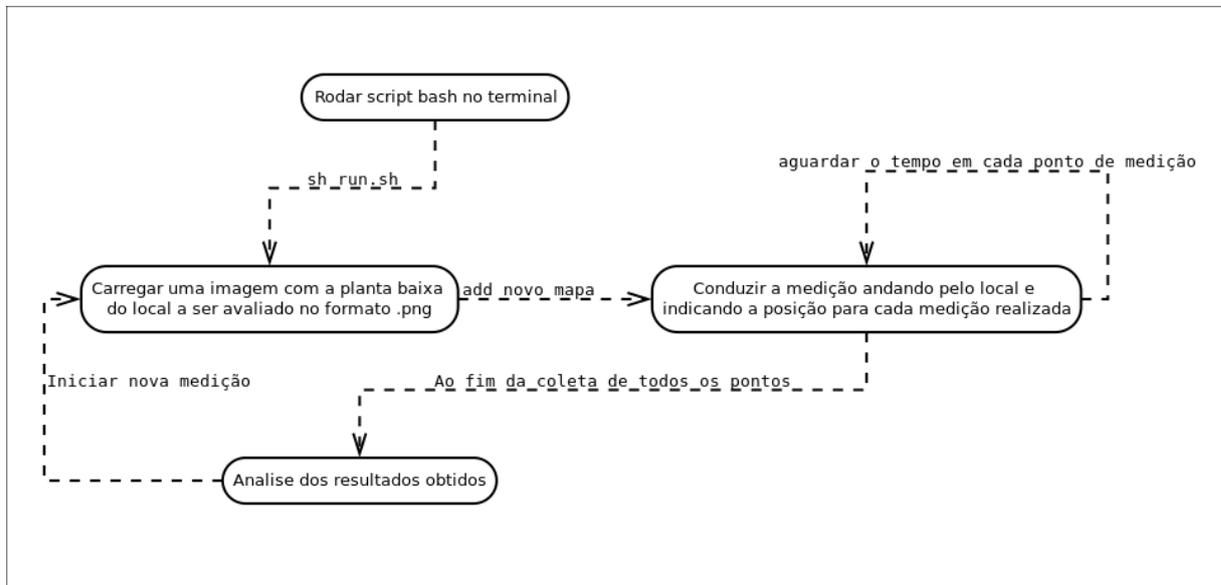
Já com tudo devidamente ajustado em relação aos pontos das medições e exibição gráfica do *heatmap*, surgiu um novo problema: ao atualizar o *heatmap* os pontos da medição não ficavam em exibição na interface, o que poderia deixar o usuário sem referência e “especialmente perdido” durante a condução do *survey*. Então, o código foi adaptado para utilizar Java *Threads*, paralelizando cada etapa do processo: uma *thread* fica responsável por coletar os dados, outra por gerar o *heatmap* e outra para desenhar os pontos usando a biblioteca Graphics2D do Java AWT.

Fazendo alguns testes preliminares com *iwlist* percebeu-se que existe uma demora maior para o retorno de sua saída de acordo com quantidade de APs em determinado ambiente. Tecnicamente seria possível instruir o *iwlist* a filtrar sua varredura pelo nome da rede Wi-Fi (ESSID) alvo, informado-a diretamente nos parâmetros do comando *iwlist*. Entretanto, de acordo com o manual do *iwlist* alguns *drivers* de interface de rede Wi-Fi podem ignorar esta opção, o que ocorreu com o hardware utilizado nos testes e poderia ocorrer com outros usuários também.

A atualização da representação gráfica do *wireless survey* deve ser realizada de maneira coordenada, devendo haver alguns segundos de espera pois gasta-se certo tempo para coletar a nova medição e então gerar o mapa de calor atualizado, ação que seria disparada toda vez que ocorrer o evento de clique do mouse no painel da GUI. Para não passar ao usuário uma falsa impressão de que o software havia “travado” ou era demasiado lento, as atualizações gráficas são feitas por *threads* separadas, evitando que o usuário tenha que (desnecessariamente) esperar muito tempo parado no mesmo lugar até que a nova imagem do *heatmap* tenha sido atualizada. A cada clique, tão breve quanto a coleta da medição tenha sido realizada, é desenhado o novo ponto da coleta sobre a planta do ambiente, com a semântica de que com o aparecimento de um novo ponto o usuário já pode mover-se para realizar nova medição. Momentos após, o gráfico do *heatmap* será atualizado pela *thread* que continuou seu trabalho em segundo plano, disparada após a coleta do *iwlist* ter sido concluída.

3.3.2 Teste

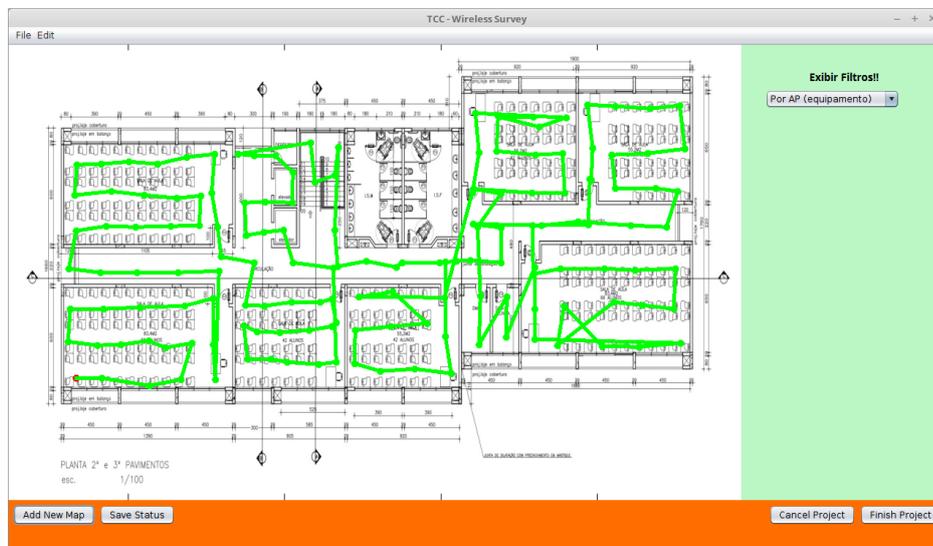
Figura 18 – Fluxograma das etapas para realização do *survey*



Fonte: o Autor

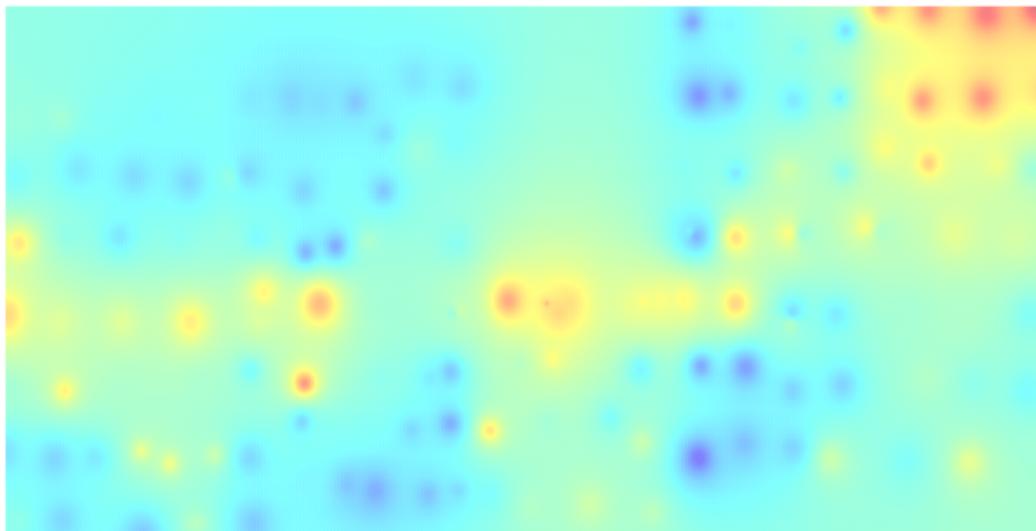
Para validação da aplicação, um teste de grande escala foi realizado no terceiro pavimento do no bloco C, maior edifício do IFMG *campus* Formiga. As figuras 19, 20 e 21 ilustram a execução dos passos do fluxograma contido na Figura 18.

Figura 19 – Representação do trajeto da coleta de medições



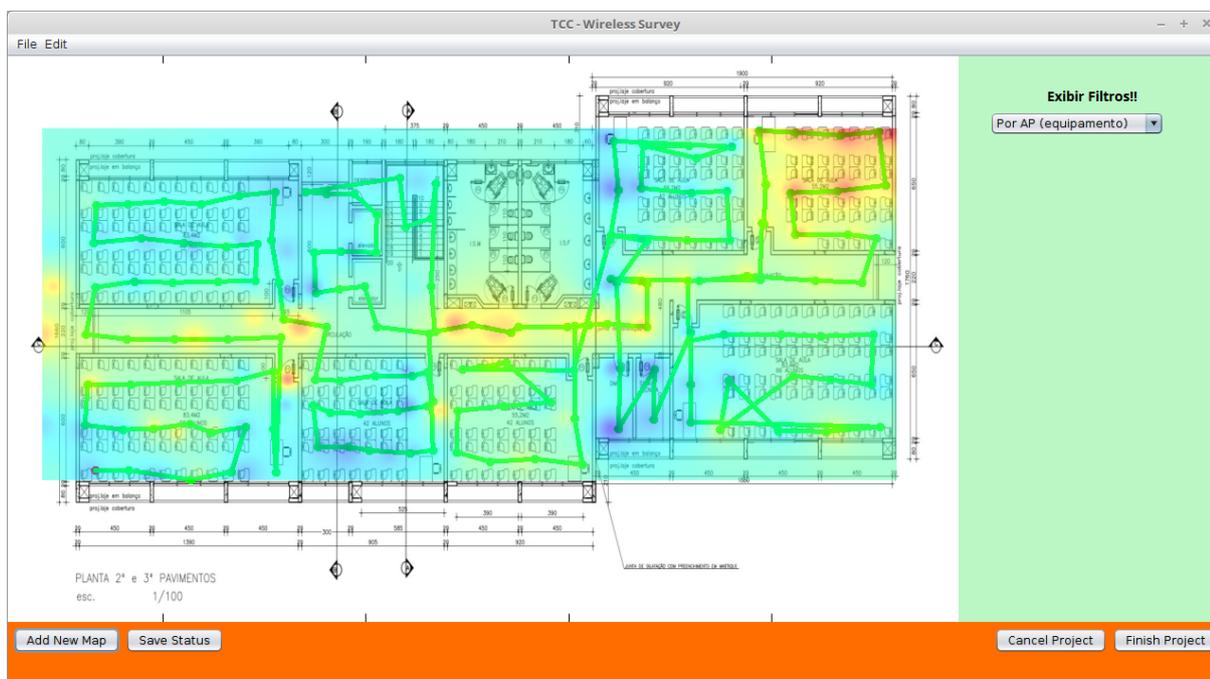
Fonte: o Autor

Figura 20 – Heatmap proveniente da coleta de medições



Fonte: o Autor

Figura 21 – Resultado combinado da coleta de medições



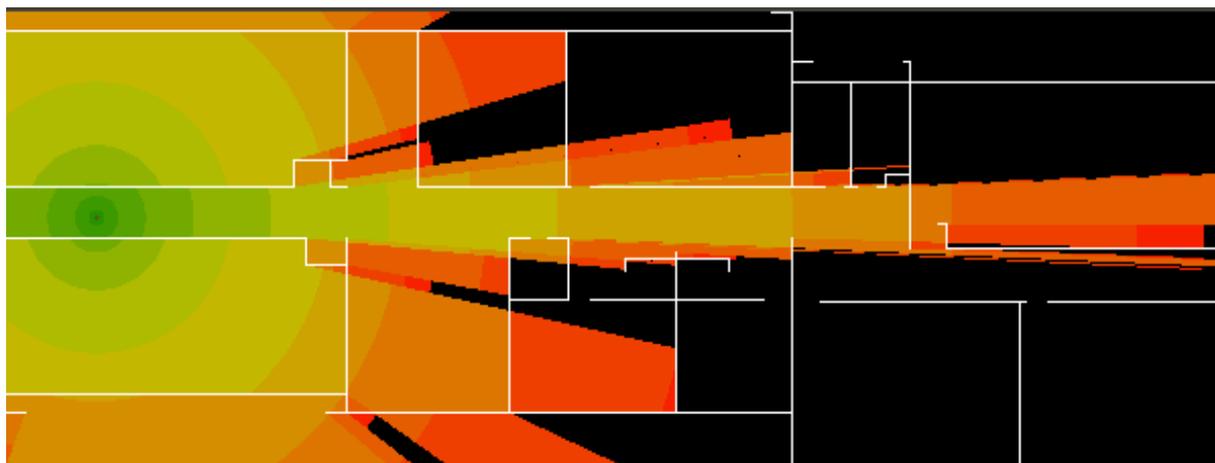
Fonte: o Autor

3.3.3 Validação

Com a realização do teste bem sucedida, restava conduzir uma verificação da validade dos dados coletados e de sua representação visual. Para tal, foi utilizado um simulador de propagação de sinais⁵ Wi-Fi desenvolvido por outro aluno do curso de Ciência da Computação, Samuel Terra Vieira, também como trabalho de conclusão de curso (VIEIRA, 2017).

A Figura 22 apresenta a simulação de propagação dos sinais de Wi-Fi de um AP posicionado no canto esquerdo do terceiro pavimento do bloco C do *campus* Formiga. Note como o sinal Wi-Fi enfraquece com o aumento da distância entre o AP e os pontos da simulação. A escala de cores do simulador vai de verde a vermelho e onde há ausência de cor o sinal recebido estaria abaixo no nível de potência mínimo (tipicamente abaixo de -90 dBm) para realização de uma conexão com o AP Wi-Fi.

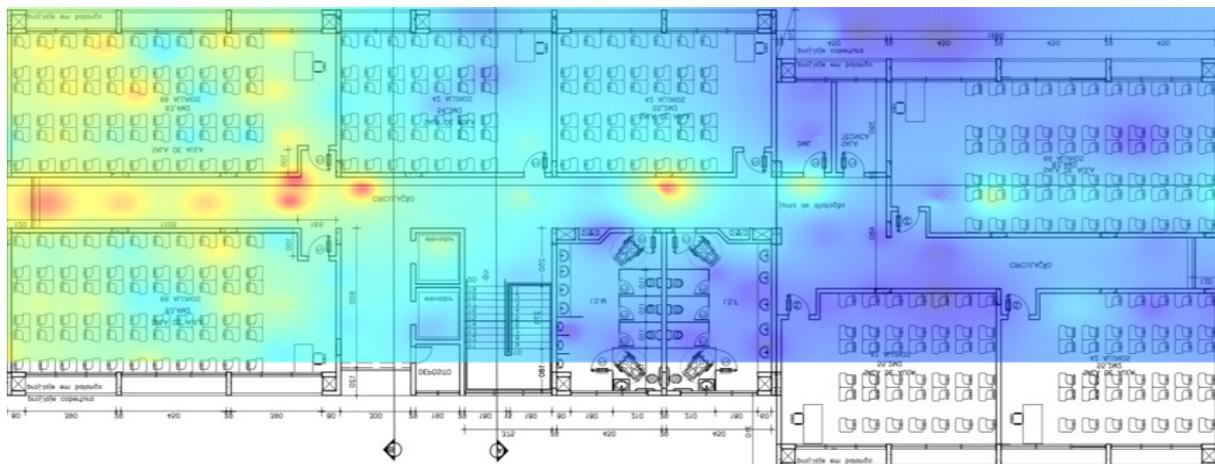
Figura 22 – Simulação da intensidade de sinal Wi-Fi



Fonte: (VIEIRA, 2017)

⁵ Disponível em: <<https://github.com/samueltterra22/tcc>>

Figura 23 – Medição da intensidade de sinal Wi-Fi



Fonte: o Autor

Já a Figura 23 apresenta os resultados do *Wireless Site Survey* realizado com o software desenvolvido neste trabalho. Comparando aos resultados da simulação da Figura 22 com a medição real da Figura 23, observa-se um casamento entre o esperado e o observado, uma vez que o sinal no corredor (no centro, horizontalmente) permanece com um nível de potência razoável, ao passo que as salas nos cantos direito superior e inferior apresentaram em ambos os casos um nível de potência de sinal demasiado baixo (roxo, na escala de cor deste trabalho e preto naquele). Observe também a fileira de carteiras no canto direito da Figura 23 que, ao contrário do restante da sala, ainda apresenta um sinal com potência acima do mínimo (azul claro). Na simulação da Figura 22, tal comportamento era esperado pois receberia o fecho de sinais provenientes do corredor.

3.4 Materiais

Para a condução dos experimentos, foi utilizado um Notebook Samsung, modelo⁶ ATIV Book 6 670Z5E-XD1BR, com a seguinte configuração:

- Processador - Intel(R) Core() i5-3230M CPU 2.60GHz;
- Memória RAM - 8GB DDR3 single channel;
- Interface de rede sem fio - **Centrino Advanced-N 6235**
 - Streams TX/RX 2x2
 - Bandas **2,4 GHz/ 5GHz**
 - Velocidade máxima 300 Mbps
 - Padrões suportados **Wi-Fi 802.11 a/b/g/n**

Para a implementação do software desenvolvido, foram utilizados os seguintes softwares:

- Sistema Operacional - Linux Mint 18.1 Cinnamon 64-bit;
- Pacote *wireless-tools*: versão 30~pre9-8ubuntu1;
- Pacote *GNUPLOT*: versão 4.6.6-3;
- Java JDK: versão 1.8.0_151 - Java HotSpot(TM) 64-Bit Server VM 25.151-b12;
- IDE para desenvolvimento da GUI: NetBeans 8.2.

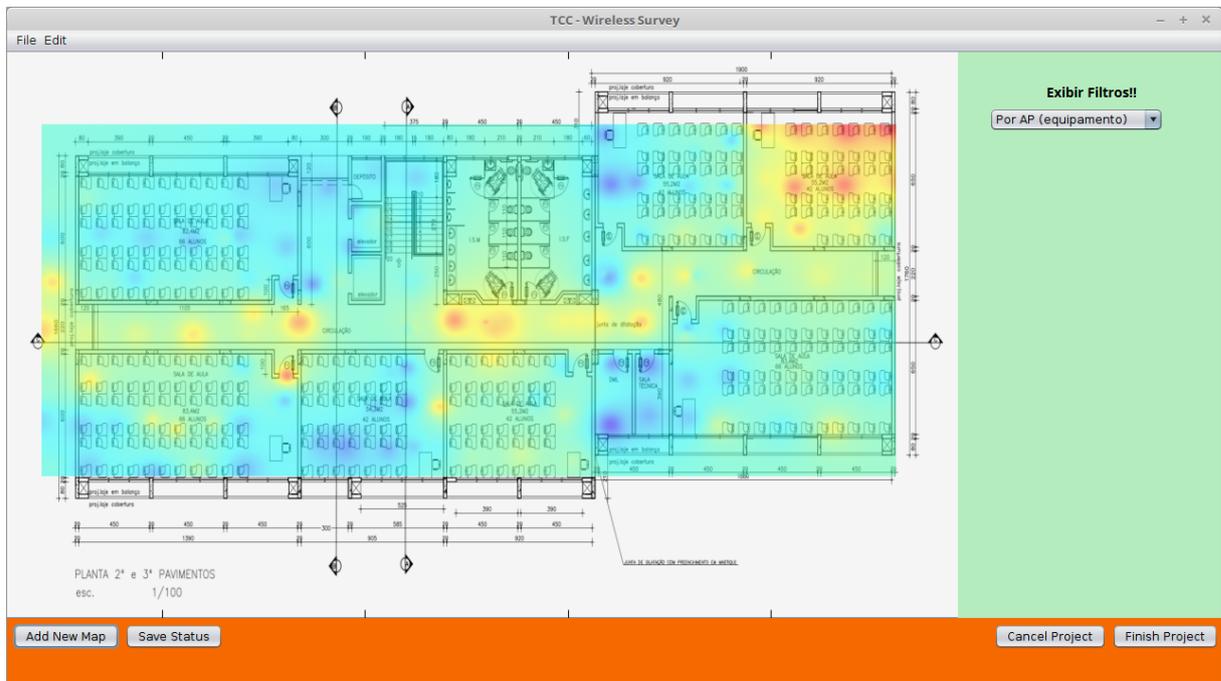
⁶ Disponível em: <<http://www.samsung.com/br/support/model/NP670Z5E-XD1BR>>

4 RESULTADOS E ANÁLISE

De posse do software desenvolvido, testado e validado, foram realizados experimentos em uma instituição de ensino e em uma residência. Abaixo são apresentados e discutidos os resultados obtidos.

4.1 Cenário 1 - pavimento de um edifício

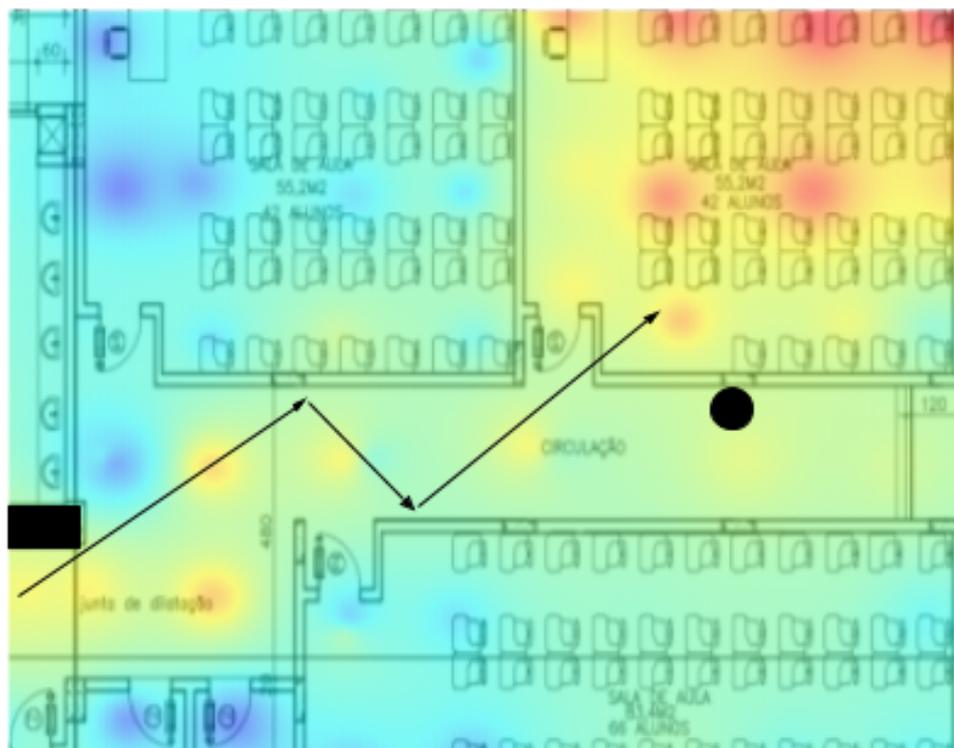
Figura 24 – Intensidade de sinal da rede wifi-alunos (bloco c, 3º pavimento)



Fonte: o Autor

A Figura 24 apresenta os resultados obtidos para o *wireless site survey* realizado no terceiro pavimento do bloco C do IFMG *campus* Formiga. Vale ressaltar que, por questões de privacidade, não foram realizadas medições de sinal dentro dos banheiros masculino e feminino (posição superior central da imagem), entretanto, pela interpolação gerada pelo *heatmap* gerado pelo GNUPLLOT, pode-se prever o nível de potência do sinal que seria ali recebido.

Figura 25 – Detalhe da intensidade de sinal em salas periféricas

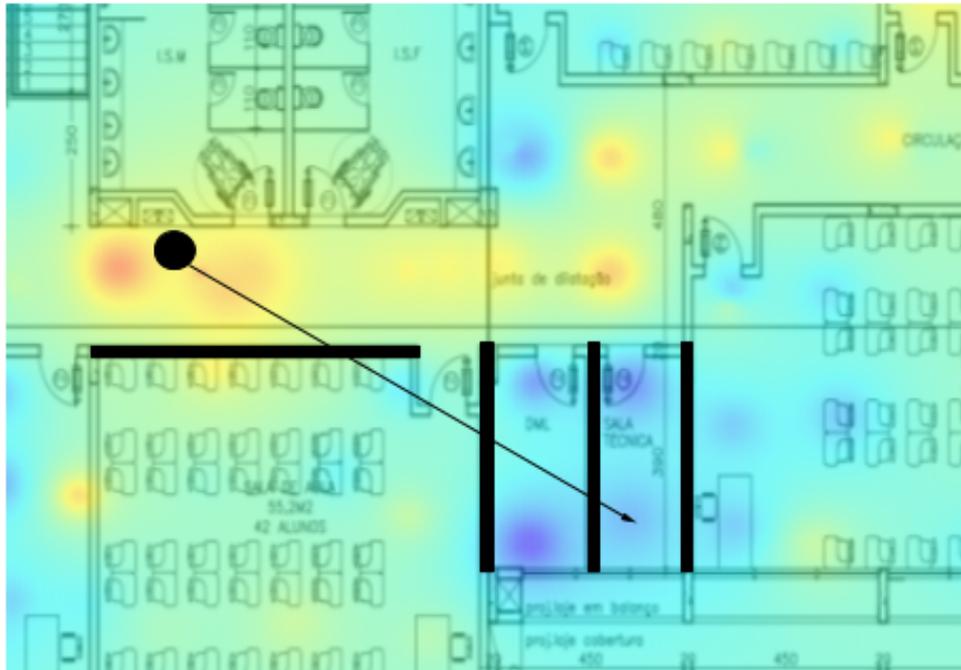


Fonte: o Autor

Ao observarmos o detalhe dos resultados apresentado na Figura 25, é possível notar que existe uma boa intensidade de sinal sendo propagada na sala da direita, enquanto na da esquerda nem tanto. Analisando o *heatmap*, tal fato poderia ser explicado pelo ângulo de incidência do sinal propagado pelo corredor horizontal, que termina em uma parede e possui um desvio de 90° para continuação do corredor. Este detalhe arquitetônico faz com que a sala da esquerda esteja na região de sombra da difração do sinal Wi-Fi incidente no término do corredor. Já a sala da direita, beneficia-se da difração ocorrida na quina da parede, no término do corredor, ressaltada como um retângulo preto na Figura 25.

Vale lembrar que, na escala de cores, a cor azul não representa ausência completa de sinal, pois o local marcado com um ponto preto representa um AP que mesmo estando fora da sala é capaz de irradiar seu sinal para dentro dela. Isso pode ocorrer pelo fato de as reflexões, difrações e dispersões da propagação do Wi-Fi serem favoráveis àquela posição. Também é válido ressaltar que a parede entre o AP e a sala da direita possui uma sequência de janelas no próximas ao teto, bem em frente ao roteador, melhorando assim a irradiação do sinal para aquele local.

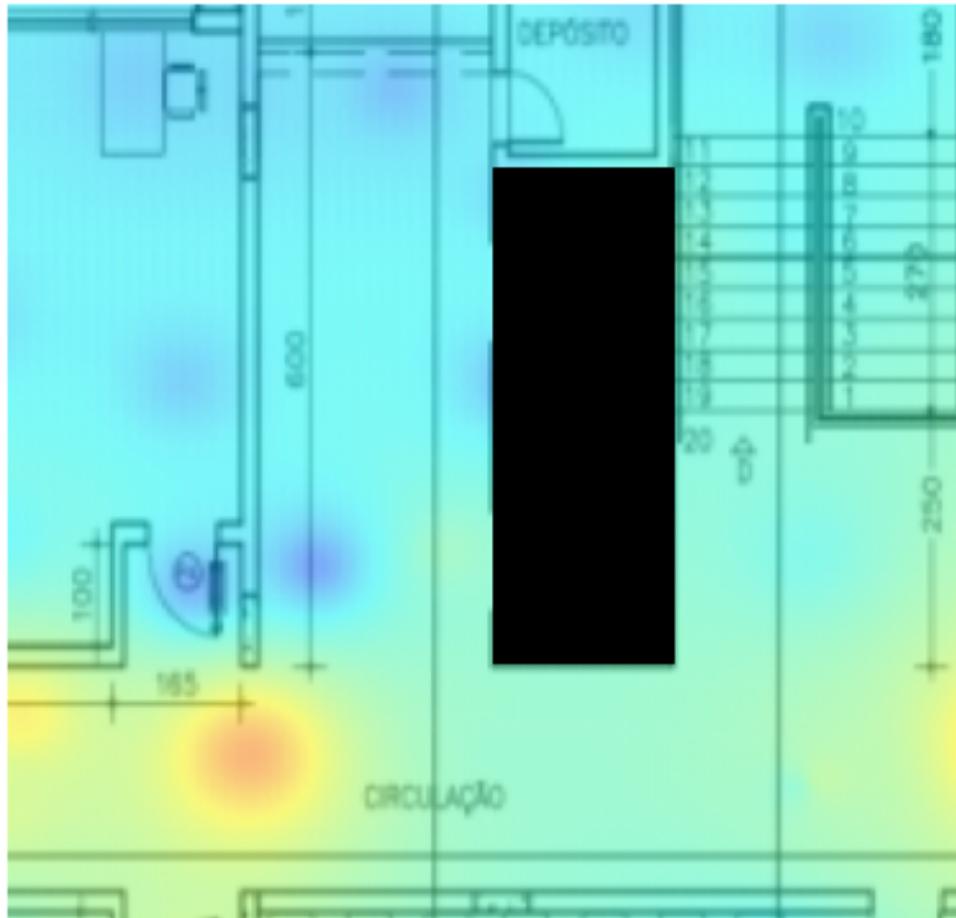
Figura 26 – Detalhe da absorção do sinal por múltiplas paredes



Fonte: o Autor

Outro ponto que sofre bastante atenuação do sinal são as salas menores no canto inferior direito do ambiente avaliado. Observe na Figura 26 que o sinal proveniente do AP (representado por um círculo preto) necessita atravessar de duas a três paredes para incidir dentro das salas no detalhe. Na imagem, as barras verticais representam paredes que contém grande concentração de cabos de energia (duto de passagem entre os pavimentos do edifício).

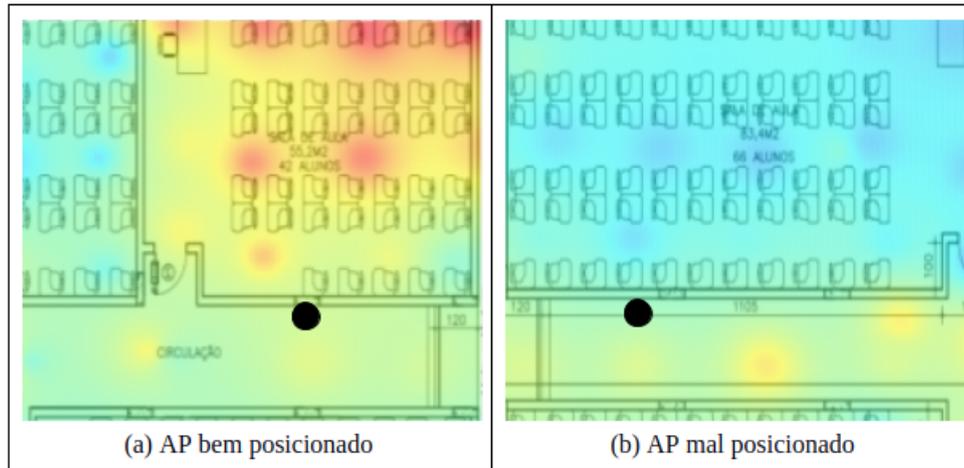
Figura 27 – Detalhe do sinal próximo ao elevador



Fonte: o Autor

Na região central superior do ambiente analisado encontra-se um elevador, bem ao lado do AP, o que pode causar grande interferência na propagação do sinal, em virtude das chapas de metal que compõe as portas do elevador. Na Figura 27, o elevador é representado por um retângulo preto e a posição do AP consiste no círculo vermelho. Observe como há uma atenuação do sinal em ambos os corredores ao lado do elevador, pelo fato das portas metálicas do elevador absorverem parte do sinal Wi-Fi.

Figura 28 – Detalhe de APs bem e mal posicionados



Fonte: o Autor

A Figura 28 apresenta dois APs localizados no mesmo ambiente avaliado, porém posicionados de maneira diferente e em locais diferentes. Na Figura 28 (a), o AP foi posicionado em uma parede na qual há diversas janelas de vidro, utilizadas para iluminação e circulação de ar no corredor. Observe na Figura 28 (a) que a sala adjacente ao AP recebe ótima cobertura e intensidade de sinal Wi-Fi.

Agora, compare com a Figura 28 (b), na qual o AP foi posicionado em uma coluna de concreto para sustentação do bloco C, dificultando assim a propagação do sinal para estas salas. Considerando a diferença na densidade dos materiais da parede e da coluna de concreto, e o fato desta última possuir um gradil de ferragens em sua construção, as medições coletadas no interior da sala adjacente ao AP são consistentes com os modelos de propagação de ondas eletromagnéticas, uma vez considerada as diferentes condutividades, permissividades e permeabilidades dos materiais (RAPPAPORT, 2009).

Abaixo as Figuras 29 e 30 mostram o posicionamento real dos APs em comparação na Figura 28:



Figura 29 – AP bem posicionado

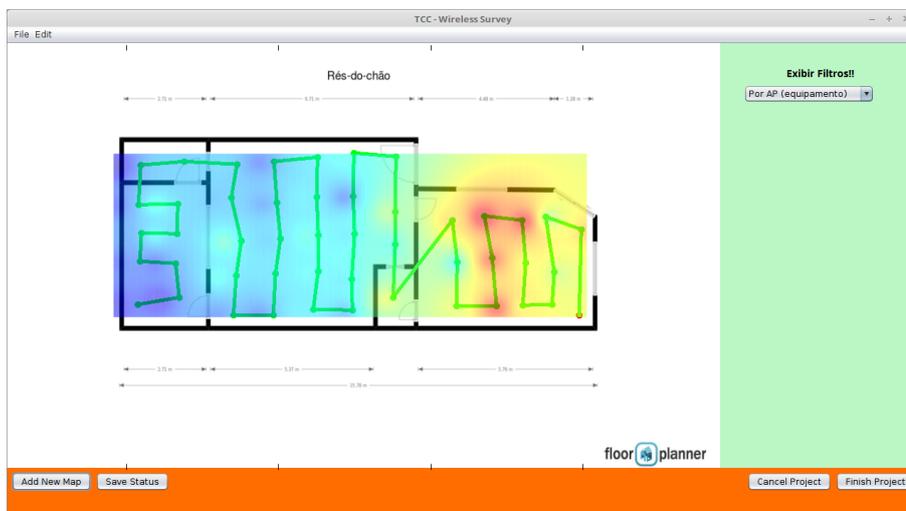


Figura 30 – AP mal posicionado

4.2 Cenário 2 - uma residência

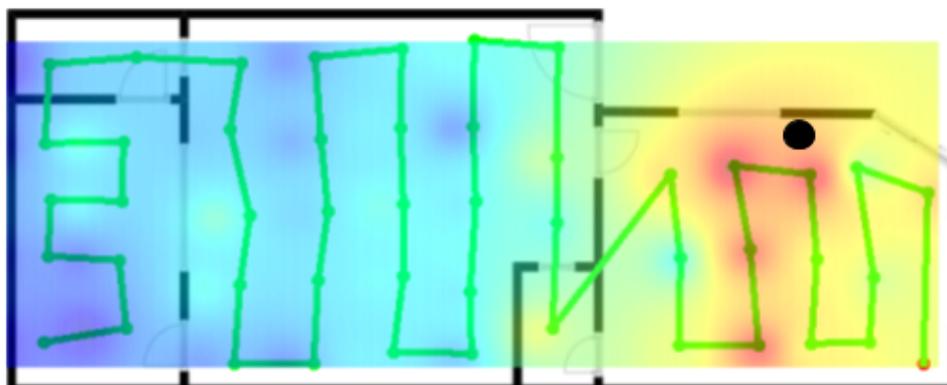
Analisando de forma geral a propagação do sinal na residência avaliada, pela Figura 31 é possível notar a baixa intensidade do sinal Wi-Fi nos pontos “mais frios” (cor roxa), mais à esquerda do ambiente avaliado, bem como a alta intensidade dos sinais Wi-Fi nos pontos mais “quentes” (cor vermelha), mais à direita do ambiente avaliado.

Figura 31 – Intensidade de sinal em uma residência



Fonte: o Autor

Figura 32 – Detalhe com a posição do AP

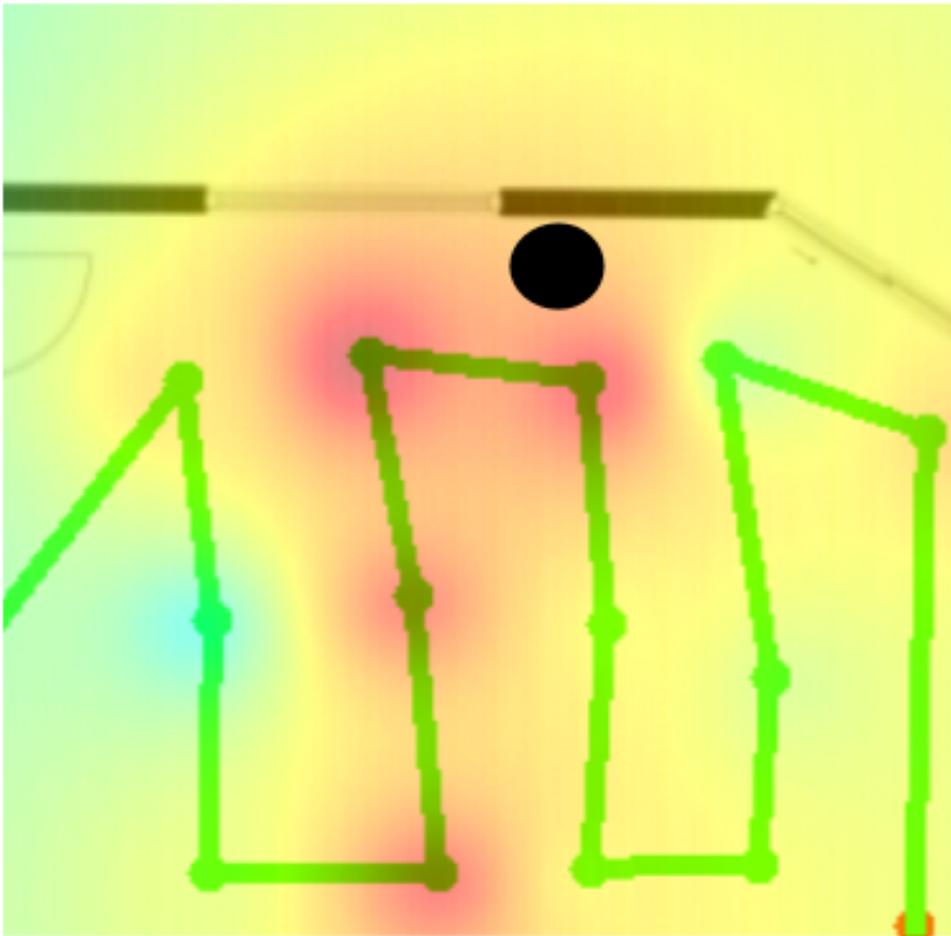


Fonte: o Autor

Pela Figura 32, além de observar o posicionamento do AP (representado como um círculo preto), observe os pontos com sinal mais fraco (roxo) no cômodo central. Além de estar mais afastado do AP que o cômodo no canto direito, os pontos roxos ficam próximos a eletrodomésticos grandes e com robusta estrutura metálica, no caso uma geladeira e um *freezer*. Assim, nos pontos com zonas de sombra (roxo) o cômodo central sofre perdas maiores do que o cômodo no canto superior esquerdo, que encontra-se mais distante do AP mas possui alguns locais com maior intensidade de sinal (azul claro). Em parte, tal fato pode também ser explicado pois, além de receber as reflexões de sinal provenientes dos eletrodomésticos citados, existe uma janela de aproximadamente 2 m x 1,5 m aberta no cômodo superior esquerdo com visão direta ao AP.

Averiguando os resultados obtidos com as medições realizadas no cômodo em que se encontra o AP da residência, pela Figura 33 é importante (e curioso) observar que, próximos à área onde o sinal está mais fraco (azul claro), havia duas pessoas entre o AP e o notebook utilizado na coleta das medições. Já na região próxima à janela da direita, havia uma pessoa sentada em uma cadeira. Isso mostra que não só paredes, móveis e eletrodomésticos, mas também o corpo humano interfere na propagação do sinal Wi-Fi, pois a composição orgânica do corpo (com grande concentração de água), absorve boa parte do sinal transmitido pelo AP Wi-Fi.

Figura 33 – Detalhe do comodo com a posição do AP



Fonte: o Autor

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Durante o desenvolvimento do software de avaliação de sinal Wi-Fi sem limitações na coleta dos dados e FOSS para o S.O. GNU/Linux, conhecimentos de diversas áreas foram adquiridos, tais como, tratamento de dados com *scripts bash* em um S.O. GNU/Linux, um pouco de desenvolvimento de interfaces Java, interação da linguagem Java com outros programas do S.O., conhecimento e um certo nível de entendimento a respeito de comunicação sem fio e redes para uma melhor interpretação dos resultados da ferramenta desenvolvida, entre outras áreas.

Ao analisar os resultados obtidos, foi possível aferir que o software desenvolvido não deixa a desejar quando se trata do objetivo principal de um *site survey*. Algumas funcionalidades ainda podem ser adicionadas, outras melhor ajustadas, mas o cerne do programa está de acordo com os objetivos propostos neste TCC. O software desenvolvido foi validado, através da comparação das medições realizadas com um simulador da propagação de ondas de radiofrequência, bem como foi testado em edifício da instituição de ensino e em uma residência. O programa compilado e seu código-fonte podem ser obtidos gratuitamente através do repositório GitHub¹, sob o nome *Wireless Site Survey*. A aplicação desenvolvida demonstrou ter grande potencial, tanto pela precisão dos resultados obtidos, possibilidade de visualização dos sinais Wi-Fi e impactos de sua análise quanto pela possibilidade da comunidade de software livre poder contribuir com ajustes e novas melhorias, uma vez que as alternativas são softwares proprietários que custam de centenas a milhares de dólares.

Como trabalhos futuros, sugere-se a adição de funcionalidades na interface gráfica da aplicação (filtros), a possibilidade da criação/exportação de projetos e viabilizar uma forma de identificar pela própria aplicação quais redes (SSID) e APs (MAC) estão visíveis no local da coleta.

¹ Disponível em: <<https://github.com/vinicius023/Wireless-Site-Survey>>

Referências

- ALMERS, P. et al. Survey of channel and radio propagation models for wireless mimo systems. *EURASIP J. Wirel. Commun. Netw.*, Hindawi Publishing Corp., New York, NY, United States, v. 2007, n. 1, p. 56–56, jan. 2007. Citado na página 38.
- GEIER, J. Rf site survey steps. *Wi-Fi Planet* [<http://www.wi-fiplanet.com/tutorials/article.php/1116311/Rf-Site-Survey-Steps.html>], 2002. Citado na página 29.
- GROUP, I. . W. et al. 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 amendment 6. *IEEE Std*, v. 802, n. 11, 2010. Citado na página 24.
- IEEE, S. A. *802.11a-1999IEEE Standard for Telecommunications and Information Exchange Between SystemsLAN/MAN Specific RequirementsPart 11: Wireless medium access control (mac) and physical layer (phy) specifications*. [S.l.], 1999. Citado na página 24.
- IEEE, S. A. *802.11b-1999. IEEE Standard for Information Technology - Telecommunications and information exchange between systems - Local and Metropolitan networks - Specific requirements - Part 11: Wireless lan medium access control (mac) and physical layer (phy) specifications*. [S.l.], 1999. Citado na página 24.
- IEEE, S. A. *802.11g-2003. 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*. [S.l.], 2003. Citado na página 24.
- IEEE, S. A. *802.11k-2008. 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*. [S.l.], 2008. Citado na página 34.
- IEEE, S. A. *802.11n-2009. 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 5*. [S.l.], 2009. Citado na página 24.
- IEEE, S. A. *802.11ac-2013. IEEE Standard for Information technology– Telecommunications and information exchange between systemsLocal and metropolitan area networks–Specific requirements–Part 11: Wireless lan medium access control (mac) and physical layer (phy) specifications–amendment 4*. [S.l.], 2013. Citado na página 24.
- IEEE, S. A. *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*. [S.l.], 2016. Citado na página 23.

LENTZ, C. 802.11 b wireless network visualization and radiowave propagation modeling. *Hanover, NH: Dartmouth College*, 2003. Citado na página 38.

RAPPAPORT, T. S. *Comunicações sem fio: princípios e práticas*. [S.l.]: Pearson Prentice Hall, 2009. Citado 2 vezes nas páginas 26 e 53.

RODRIGUES, W. C. d. J.; SANTOS, E. Ferreira dos. Site survey: mapeamento, detecção de vulnerabilidades e análise de sinal de redes sem fio. *Exacta*, Universidade Nove de Julho, v. 5, n. 1, 2007. Citado 2 vezes nas páginas 28 e 29.

SANDEEP, A. et al. Wireless network visualization and indoor empirical propagation model for a campus wi-fi network. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, v. 42, p. 730–734, 2008. Citado na página 38.

TAY, Y.; CHUA, K. C. A capacity analysis for the iee 802.11 mac protocol. *Wireless networks*, Springer-Verlag New York, Inc., v. 7, n. 2, p. 159–171, 2001. Citado na página 23.

VIEIRA, S. T. *Otimização do Posicionamento de Pontos de Acesso Wireless*. 2017. Monografia (Bacharel em Ciência da Computação), Instituto Federal de Minas Gerais campus Formiga, Formiga, Brazil. Citado na página 45.