

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

MARINA FARIAS DOS SANTOS

Estudo de Caso: Avaliação da Rede 802.11 nos prédios administrativo e acadêmico da Unipampa Alegrete

Alegrete

2021

MARINA FARIAS DOS SANTOS

Estudo de Caso: Avaliação da Rede 802.11 nos prédios administrativo e acadêmico da Unipampa Alegrete

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Telecomunicações da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Telecomunicações.

Orientador: Prof. Dr. Bruno Boessio Vizzotto

Alegrete
2021

MARINA FARIAS DOS SANTOS

ESTUDO DE CASO: AVALIAÇÃO DA REDE 802.11 NOS PRÉDIOS ADMINISTRATIVO E ACADÊMICO DA UNIPAMPA ALEGRETE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Telecomunicações da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Telecomunicações.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 25 de Junho de 2021.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Bruno Boessio Vizzotto
Orientador
UNIPAMPA

Prof. Dr. Cristian Muller
UNIPAMPA

Prof. Me. Dimas Irion Alves
UNIPAMPA



Assinado eletronicamente por **BRUNO BOESSIO VIZZOTTO, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 07/07/2021, às 07:54, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **DIMAS IRION ALVES, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 07/07/2021, às 08:32, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **CRISTIAN MULLER, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 07/07/2021, às 15:05, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0564231** e o código CRC **C6A4AF6F**.

Universidade Federal do Pampa, Campus Alegrete
Av. Tiarajú, 810 – Bairro: Ibirapuitã – Alegrete – RS CEP: 97.546-550
Telefone: (55) 3422-8400

*“Se Ela te sustenta, não cairás; se Ela te protege, nada terás a temer;
se Ela te conduz, não te cansarás; se Ela te é favorável, alcançarás o fim.”*
(São Bernardo)

RESUMO

Neste trabalho é apresentado um estudo de caso da rede 802.11 dos prédios administrativo e acadêmico da Unipampa campus Alegrete. O intuito desse trabalho é realizar uma análise da rede sem fio, verificando o nível de sinal, cobertura e velocidade de tráfego que poderá ser generalizada como método para análises em outros prédios da Unipampa ou, até mesmo, para outras redes sem fio em ambientes semelhantes. O trabalho apresenta uma breve introdução aos padrões 802.11 existentes, que são base para a comunicação sem fio, e aborda o desvanecimento em larga escala dos sinais eletromagnéticos juntamente com os modelos de propagação que estimam o nível de potência de um sinal ao longo do espaço. Os modelos supracitados são o modelo de perdas de propagação no espaço livre e o modelo de perdas log-normal. A descrição metodológica de avaliação da rede sem fio proposta neste trabalho é apresentada juntamente com as especificidades da estrutura. São realizadas também as análises dos relatórios internos e dos equipamentos utilizados atualmente. Por fim, são apresentados os dados obtidos com as medidas e a indicação de melhorias na rede sem fio.

Palavras-chave: Rede sem fio, Rede 802.11, Comunicação sem fio, *Quality of Service* (QoS), estudo de caso Wi-Fi, Cisco.

ABSTRACT

In this work a case study of the 802.11 network of the administrative and academic buildings of the Unipampa campus Alegrete is presented. The purpose of this work is to carry out an analysis of the wireless network, verifying the level of signal, coverage and traffic speed, which can be generalized as a method for analysis in other buildings of Unipampa or, even for other wireless networks in similar environments. The paper presents a brief introduction to the existing 802.11 standards, which are the basis for wireless communication, and addresses the large-scale fading of electromagnetic signals together with propagation models that estimate the power level of a signal across space. The aforementioned models are the propagation loss model in free space and the log-normal loss model. The methodological description of the wireless network evaluation proposed in this work is presented together with the specifics of the structure. Analyzes of internal reports and equipment currently used are also carried out. Finally, the data obtained with the measurements and the indication of improvements in the wireless network are presented.

Keywords: Wireless network, 802.11 network, Wireless communication, Quality of Service (QoS), Wi-Fi case study, Cisco.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Vínculo com a Unipampa e principal meio de acesso a rede.	18
Figura 2 – Avaliação geral da rede Wi-Fi e do nível de sinal.	18
Figura 3 – Avaliação da velocidade e da cobertura de sinal.	19
Figura 4 – Evolução padrão 802.11.	21
Figura 5 – Perda de potência em sinais de radiofrequência vista no receptor.	23
Figura 6 – Planta Baixa dos prédios acadêmico e administrativo do primeiro andar.	28
Figura 7 – Diagrama de irradiação da antena em 2,4 GHz.	29
Figura 8 – Diagrama de irradiação da antena em 5 GHz micro.	29
Figura 9 – Diagrama de irradiação da antena em 5 GHz macro.	30
Figura 10 – Planta Baixa do segundo andar do prédio Acadêmico.	30
Figura 11 – Planta Baixa do segundo andar do prédio Administrativo.	33
Figura 12 – Planta Baixa do segundo andar do prédio Acadêmico com as disposição dos AP's.	34
Figura 13 – Planta Baixa do segundo andar do prédio Administrativo com as disposição dos AP's.	34
Figura 14 – Mapa de calor do segundo andar do prédio Acadêmico em 2,4 GHz.	35
Figura 15 – Mapa de calor do segundo andar do prédio Administrativo em 2,4 GHz.	35
Figura 16 – Mapa de calor do segundo andar do prédio Acadêmico em 5 GHz.	36
Figura 17 – Mapa de calor do segundo andar do prédio Administrativo em 5 GHz.	36
Figura 18 – Mapa de calor da taxa do segundo andar do prédio Acadêmico em 2,4 GHz.	36
Figura 19 – Mapa de calor da taxa do segundo andar do prédio Administrativo em 2,4 GHz.	37
Figura 20 – Mapa de calor da taxa do segundo andar do prédio Acadêmico em 5 GHz.	37
Figura 21 – Mapa de calor da taxa do segundo andar do prédio Administrativo em 5 GHz.	37
Figura 22 – Mapa de calor do primeiro andar do prédio Acadêmico em 2,4 GHz.	40
Figura 23 – Mapa de calor do segundo andar do prédio Acadêmico em 2,4 GHz.	41
Figura 24 – Mapa de calor do terceiro andar do prédio Acadêmico em 2,4 GHz.	41
Figura 25 – Mapa de calor do primeiro andar do prédio Acadêmico em 5 GHz.	43
Figura 26 – Mapa de calor do segundo andar do prédio Acadêmico em 5 GHz.	44
Figura 27 – Mapa de calor do terceiro andar do prédio Acadêmico em 5 GHz.	44
Figura 28 – Mapa de calor do primeiro andar do prédio Administrativo em 2,4 GHz.	46
Figura 29 – Mapa de calor do segundo andar do prédio Administrativo em 2,4 GHz.	46
Figura 30 – Mapa de calor do terceiro andar do prédio Administrativo em 2,4 GHz.	47
Figura 31 – Mapa de calor do primeiro andar do prédio Administrativo em 5 GHz.	47
Figura 32 – Mapa de calor do segundo andar do prédio Administrativo em 5 GHz.	48
Figura 33 – Mapa de calor do terceiro andar do prédio Administrativo em 5 GHz.	48

Figura 34 – Indicação para a localização dos AP's ao longo do terceiro andar do
prédio Administrativo. 50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Principais informações da evolução do padrão 802.11.	22
Tabela 2 – Principais informações dos AP's Cisco AIR-AP2802I-Z-K9 e AIR-AP1832I-Z-K9.	31
Tabela 3 – Principais informações dos AP's Cisco AIR-CAP2602I-T-K9 e AIR-CAP1702I-Z-K9.	32
Tabela 4 – Parâmetros definidos pelo DTIC para o prédio Acadêmico.	33
Tabela 5 – Parâmetros definidos pelo DTIC para o prédio Administrativo.	33
Tabela 6 – Informações técnicas dos AP's do prédio Acadêmico.	34
Tabela 7 – Informações técnicas dos AP's do prédio Administrativo.	34
Tabela 8 – Escala de intensidade do sinal utilizada nos mapas de calor.	35
Tabela 9 – Escala de intensidade da taxa utilizada nos mapas de calor.	36

SUMÁRIO

1	Introdução	17
1.1	Justificativa	17
1.1.1	Pesquisa de satisfação	18
1.2	Objetivos Gerais e Específicos	19
1.3	Contribuição do Trabalho	20
1.4	Organização do Trabalho	20
2	Revisão Bibliográfica	21
2.1	Padrão IEEE 802.11	21
2.2	Desvanecimento de Larga Escala	22
2.2.1	Modelos de propagação	23
2.2.1.1	Modelo de perdas de propagação no espaço livre	23
2.2.1.2	Modelo de perdas log-normal	24
3	Infraestrutura e Metodologia de Avaliação	26
3.1	Metodologia	26
3.2	Infraestrutura física do Campus Alegrete	27
3.3	Análise dos <i>datasheets</i> dos AP's	27
3.4	Relatório Cisco Prime	27
4	Análise e Resultados	38
4.1	Aferição da intensidade de sinal	38
4.2	Alterações indicadas	49
5	Considerações Finais	51
	Referências	52

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, as redes sem fio apresentam-se como primeira escolha de acesso à internet da maioria dos usuários. Neste contexto, o Wi-Fi é uma tecnologia amplamente utilizada, seja através de smartphones ou notebooks, e tende a substituir o acesso com fio gradativamente. Para atender as necessidades de novas aplicações de serviço e reduzir a diferença de largura de banda da rede guiada, novas gerações do padrão 802.11 estão sendo desenvolvidas. Entre as cinco gerações amplamente utilizadas de sistemas Wi-Fi (801.11a, 802.11b, 802.11a/g, 802.11n, 802.11ac), novas técnicas foram incorporadas para o aumento da taxa de transmissão (largura de banda).

Há uma grande exigência de desempenho da rede sem fio para os serviços de compartilhamento de vídeo, videoconferência, jogos online, sincronização e *backup* dos dispositivos móveis, mensagens instantâneas e comércio digital. Considerando estes aspectos, deseja-se uma rede sem fio eficiente, com capacidade de tráfego elevada, cobertura homogênea, planejada para múltiplos acessos simultâneos de maneira segura e estável. Por conta dessa demanda, universidades, shoppings, cafeterias, aeroportos, restaurantes, eventos em geral, estádios e os mais variados espaços de convivência, implementam projetos de redes sem fio para prover a conexão com a internet aos seus usuários, além da rede doméstica. Somente entre os meses de janeiro e março de 2020, a conexão a rede sem fio dos smartphones em média foi de 65,94% em relação a conexão com a rede móvel [1].

Entre outros problemas comuns apresentados em redes sem fio domésticas e empresariais estão a cobertura do sinal e a oscilação da taxa de dados e/ou conexão devido a alta interferência. As interferências ocorrem sejam por dispositivos que utilizam a mesma faixa de frequência para operar, tal como forno micro-ondas, babás eletrônicas, câmeras de vigilância, sejam pelas redes sem fio da vizinhança. Com base nestas observações, este trabalho tem o intuito de avaliar uma rede sem fio levando em consideração os critérios de qualidade e as tecnologias disponíveis.

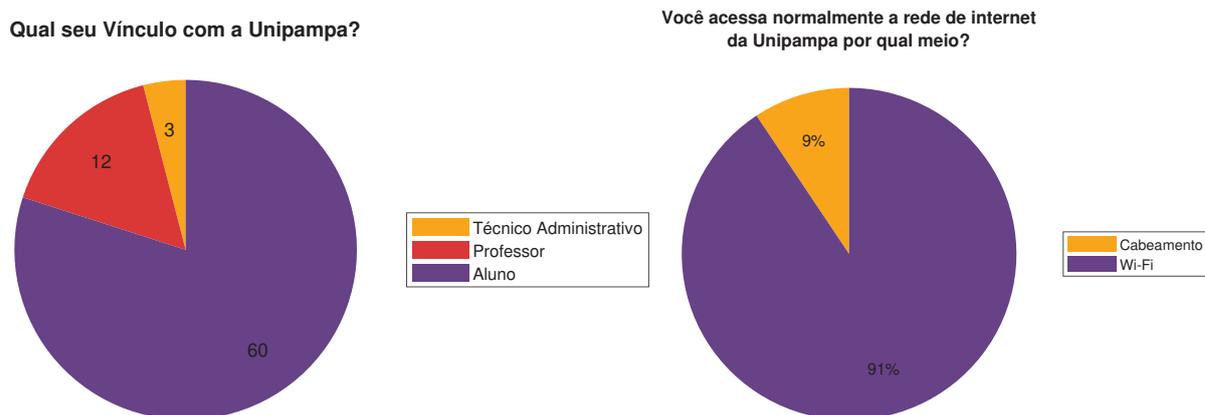
1.1 Justificativa

O presente estudo objetiva realizar uma análise da rede 802.11 da Unipampa campus Alegrete, os aspectos principais avaliados serão a cobertura, nível de sinal e taxa de dados. Para o desenvolvimento dessa atividade, é necessário domínio teórico e prático relacionado principalmente às disciplinas de Redes de Comunicação, Antenas, Comunicações Móveis, Propagação e Técnicas de Diversidade em Sistemas de Comunicação.

1.1.1 Pesquisa de satisfação

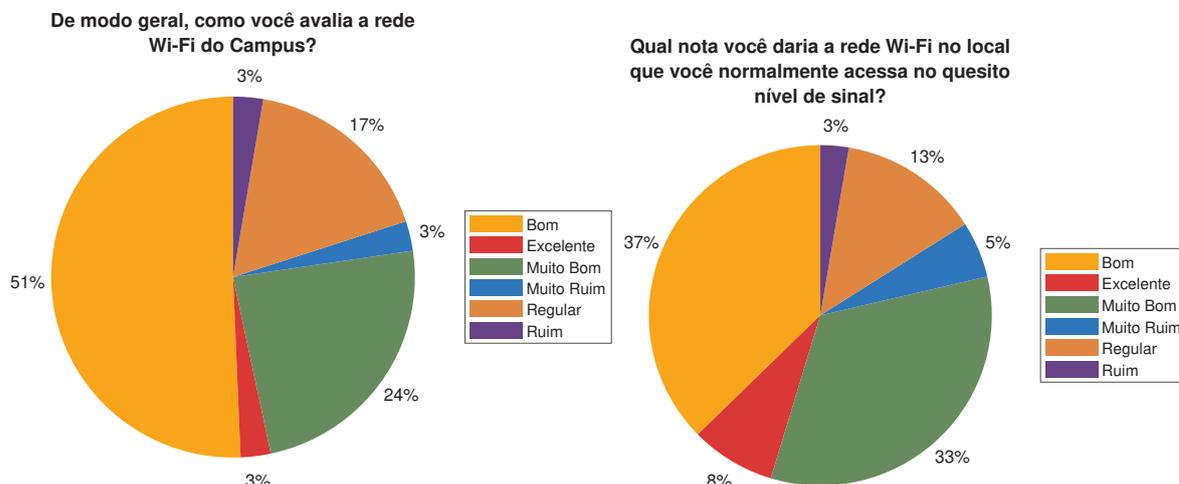
Para fins de avaliação subjetiva, foi realizada uma pesquisa de satisfação junto aos alunos, professores e técnicos administrativos com relação a qualidade da rede sem fio do campus Alegrete. Na Figura 1 encontram-se a quantidade de pessoas que responderam a pesquisa e o meio principal de acesso a internet dos usuários. Na Figura 2 encontra-se o percentual de satisfação de modo geral com relação a rede sem fio, juntamente com a satisfação com relação ao nível de sinal. As avaliações regular, ruim e muito ruim somam um pouco mais de 20% no resultado dessas duas perguntas. As avaliações dos quesitos velocidade e cobertura de sinal encontram-se na Figura 3. Verifica-se que a soma das avaliações regular, ruim e muito ruim resultam em um pouco menos de 20%, com relação a velocidade. Já a avaliação da cobertura de sinal apresenta um resultado da soma maior que 50%.

Figura 1 – Vínculo com a Unipampa e principal meio de acesso a rede.



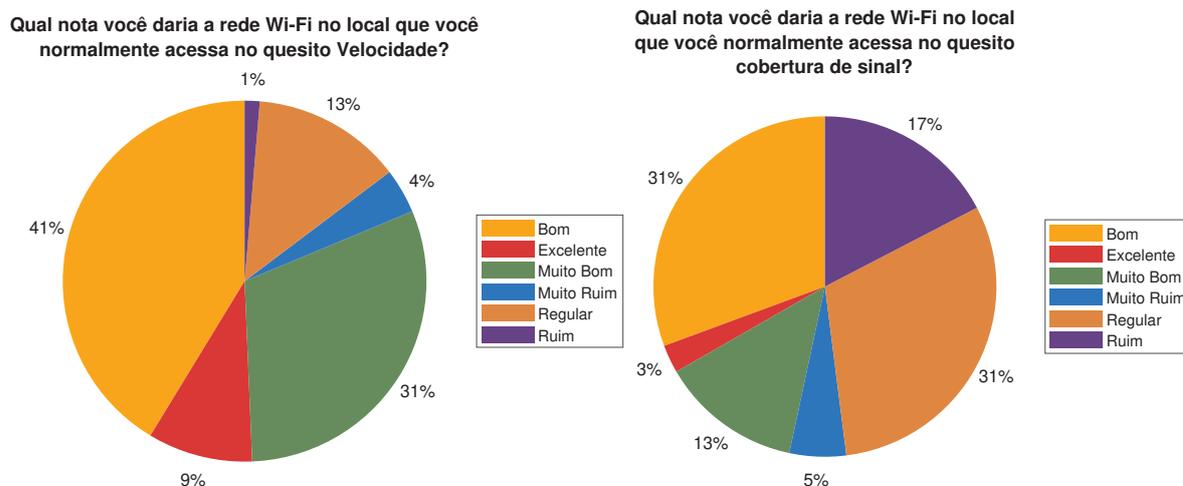
Fonte: Autoria própria.

Figura 2 – Avaliação geral da rede Wi-Fi e do nível de sinal.



Fonte: Autoria própria.

Figura 3 – Avaliação da velocidade e da cobertura de sinal.



Fonte: Autoria própria.

Além das perguntas apresentadas anteriormente, também foi solicitado que os usuários respondessem sobre os lugares onde normalmente acessam a rede e os locais onde encontram-se dificuldade de acesso recorrentemente. Diversas salas de aula e de professores foram descritas como ambientes com falhas, especialmente as salas 101, 201, 301, 204, 304, etc.

O resultado da pesquisa demonstra que há uma insatisfação principalmente com relação a cobertura de sinal dos prédios. Isso indica a existência de zonas de sombreamento que, em alguns casos, como salas de professores e salas de aula, inviabilizam o acesso a rede, prejudicando diretamente o andamento de atividades acadêmicas dependentes da rede.

1.2 Objetivos Gerais e Específicos

O objetivo geral deste trabalho é realizar a análise da rede 802.11 da Unipampa campus Alegrete, apontando possíveis falhas e indicando melhorias.

Para realizar o proposto acima, objetiva-se:

- Realizar um estudo na literatura sobre metodologias avaliativas de redes 802.11 após a implementação;
- Desenvolver um método para realizar a avaliação da rede, tendo em vista os equipamentos disponíveis para tal;
- Analisar os resultados, indicar melhorias e, caso seja possível, aplicar na prática e verificar a performance da rede após a otimização.

1.3 Contribuição do Trabalho

Com as informações apresentadas neste trabalho a universidade poderá reavaliar a configuração atual da sua rede sem fio, melhorando a performance do acesso a internet disponível para a comunidade acadêmica. O conhecimento adquirido ao longo do curso irá contribuir diretamente na qualidade do serviço na universidade, caso as alterações propostas possam ser implementadas.

1.4 Organização do Trabalho

No capítulo 2, é apresentado uma revisão bibliográfica, abordando a evolução do Padrão 802.11 até os dias de hoje e os principais tópicos que devem ser levados em consideração para avaliar o desempenho das redes Wi-Fi. Também são descritas as características desvanecentes de um sinal eletromagnético e os modelos de propagação utilizados para estimar o nível de potência de um sinal a determinada distância.

O capítulo 3 apresenta a metodologia utilizada para o desenvolvimento deste trabalho, informações acerca da infraestrutura dos prédios acadêmico e administrativo, além das análises dos *datasheets* dos equipamentos de rede e do relatório da Cisco Prime.

No capítulo 4, encontram-se os resultados obtidos após as medições dos sinais nos dois prédios, informações relevantes devido ao momento em que foram desenvolvidas as atividades e as mudanças indicadas para a melhoria da cobertura atual da rede sem fio do campus.

Finalmente, no capítulo 5 são apresentadas as considerações finais e as conclusões em relação as atividades desenvolvidas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

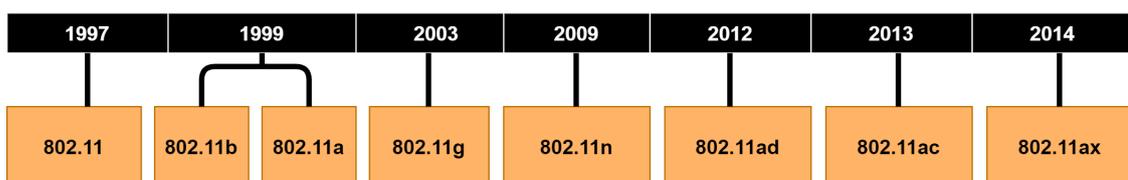
Neste capítulo, são apresentados os principais conceitos relacionados ao tema. Iniciando com a descrição dos padrões IEEE 802.11, que são a base para a comunicação sem fio utilizada nas redes IEEE 802.11 (Wi-Fi), do desvanecimento e dos modelos de propagação importantes para este estudo.

O desvanecimento pode ser definido como a caracterização da existência de variações aleatórias em um período de tempo, na intensidade do sinal recebido. Essas variações utilizam como referência as perdas/atenuações de um sinal sob as condições de espaço livre. Em geral, as causas do desvanecimento são oriundas do meio de propagação e estão presentes nas ligações entre o transmissor e o receptor, sujeito a mudanças características dos meios [2].

2.1 Padrão IEEE 802.11

O Wi-Fi, marca registrada da Wi-Fi Alliance, é um conjunto de especificações para redes locais sem fio (WLAN - *Wireless Local Area Network*) baseada no padrão IEEE 802.11. A primeira geração de padrões 802.11 foi lançada em 1997 e, desde então, o Wi-Fi passou por um grande desenvolvimento e além de uma intensa popularização. Na Figura 4 encontra-se a evolução do padrão ao longo dos anos, cuja última atualização é o padrão 802.11ax, divulgado comercialmente como Wi-Fi 6, que chega a uma taxa de 9,6 Gbps [3].

Figura 4 – Evolução padrão 802.11.



Fonte: Autoria própria baseado em [4], [5], [6].

As principais características dos padrões estão apresentadas na Tabela 1.

Para avaliar o desempenho das redes Wi-Fi deve-se levar em consideração os seguintes tópicos [9]:

- Tecnologia utilizada nas camadas físicas e de enlace: IEEE 802.11a/b/g/n/ac/ax;
- Relação sinal ruído (SNR - *Signal to Noise Ratio*) e intensidade de sinal;
- Quantidade de estações disputando o meio de transmissão;
- Eficiência das camadas física, enlace, rede e transporte;

Tabela 1 – Principais informações da evolução do padrão 802.11.

Padrão	Frequência	Largura de Banda	Modulação	Tecnologia Antena	Taxa de dados
802.11b	2,4 GHz	20 MHz	CCK	-	11 Mbps
802.11a	5 GHz	20 MHz	OFDM	-	54 Mbps
802.11g	2,4 GHz	20 MHz	CCK, OFDM	-	54 Mbps
802.11n	2,4 GHz, 5 GHz	20 MHz, 40 MHz	OFDM até 64-QAM	MIMO, MU-MIMO	540 Mbps
802.11ac	5 GHz	40 MHz, 80 MHz, 160 MHz	OFDM até 256-QAM	MIMO, MU-MIMO	6,24 Gbps
802.11ad	2,4 GHz, 5 GHz, 60 GHz	2,16 GHz	SC/OFDM	Beamforming	6,76 Gbps
802.11ax	2,4 GHz, 5 GHz, 6 GHz	40 MHz, 80 MHz, 160 MHz	OFDM, OFDMA	MIMO, MU-MIMO	9,6 Gbps

Fonte: Autoria própria baseado em [3], [7] e [8].

- A experiência do usuário (do inglês, *User eXperience* - UX) depende principalmente da camada de rede, que é caracterizada pela taxa de transmissão efetiva, conhecida normalmente por *throughput*, e *jitter* que quer dizer a variação do atraso do sinal.

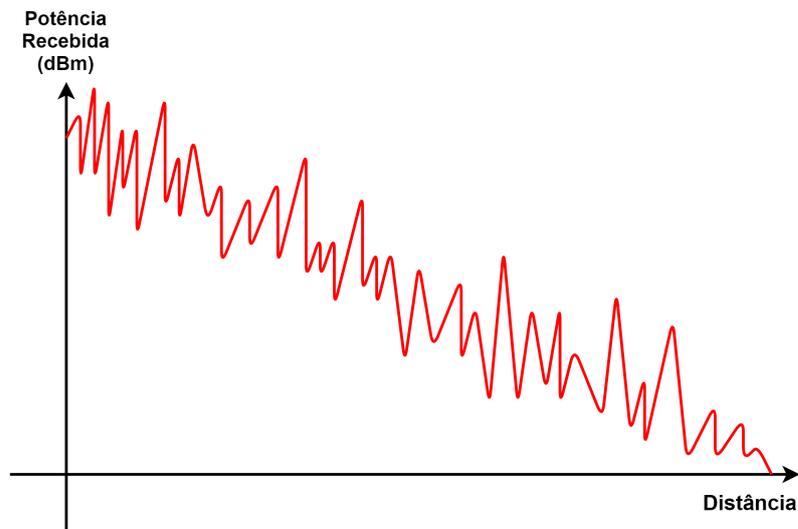
2.2 Desvanecimento de Larga Escala

O desvanecimento pode ser amplamente agrupado em dois tipos: desvanecimento de larga escala e desvanecimento de pequena escala. O desvanecimento de pequena escala está relacionado às rápidas mudanças de amplitude e fase de um sinal de rádio em um curto período de tempo ou, curta distância. O desvanecimento de larga escala, comumente descrito pelo modelo log-normal, representa uma atenuação média do nível de potência do sinal, ou seja, perdas no caminho devido à distância entre o transmissor e o receptor. Em grandes áreas, é resultado da configuração do terreno entre o transmissor e o receptor, além da própria atenuação inerente aos efeitos de propagação no espaço livre. Além disso, é um fenômeno relacionado às características de propagação que manifestam seus efeitos no sinal ao longo de médias e grandes distâncias, comparadas com o comprimento da onda [2].

No receptor o nível de potência flutua em torno de um valor médio e essas flutuações ocorrem em uma determinada margem de tempo. As estatísticas do desvanecimento de larga escala, descritas em termos de perda de caminho é uma variação logarítmica normalmente distribuída sobre a média, podem levar a uma estimativa da perda do caminho em função da distância [10]. Esses efeitos estão exemplificados na Figura 5.

Mesmo quando não há a movimentação do dispositivo receptor, o desvanecimento

Figura 5 – Perda de potência em sinais de radiofrequência vista no receptor.



Fonte: Autoria própria.

em pequena escala relacionado ao enlace pode ocorrer devido a significativas alterações no ambiente como variações no índice de refração da atmosfera, dentre outros. Além disso, esse tipo de efeito é também causado pelo sombreamento do receptor por obstáculos como relevo, vegetação e edificações. Na presença de obstrução à propagação, uma forma do sinal chegar ao receptor é por meio de reflexões, difrações e espalhamentos, de modo que a sua variação de amplitude pode ser modelada por uma distribuição de Rayleigh [2].

2.2.1 Modelos de propagação

O sinal eletromagnético que contém informação se propaga através do canal de comunicação com um nível de potência transmitido pela antena transmissora. Como existe a atenuação no espaço livre, a potência detectada pela antena receptora é inferior a transmitida. Essa diferença é calculada através de modelos de propagação que estimam as perdas que um sinal transmitido tem após percorrer o caminho até o destino. Os modelos utilizados para realizar as simulações são o modelo de perdas de propagação no espaço livre (Equação de Friis) e o modelo de perdas log-normal.

2.2.1.1 Modelo de perdas de propagação no espaço livre

Este modelo de perdas é utilizado para estimar o nível de potência de um sinal recebido onde há uma forte linha de visada entre as antenas transmissora e receptora e condições quase ideais de absorção e reflexão.

A equação de Friis pode ser escrita da seguinte forma

$$P_r = G_t G_r P_t \frac{\lambda^2}{(4\pi R)^2}, \quad (2.1)$$

onde as variáveis utilizadas são definidas como:

- G_t : Ganho da antena transmissora;
- G_r : Ganho da antena receptora;
- P_t : Potência transmitida;
- P_r : Potência recebida;
- λ : Comprimento de onda;
- R : Distância entre as antenas transmissora e receptora.

2.2.1.2 Modelo de perdas log-normal

Modelos baseados em cálculos teóricos e em medidas indicam que a potência do sinal recebido, em um canal de larga e pequena escala, diminui logaritmicamente com a distância. A expressão matemática do modelo que relaciona a perda com a distância, usando um expoente de perdas, é dada por

$$\bar{L}(d) \propto \left(\frac{d}{d_0}\right)^n \quad (2.2)$$

ou

$$\bar{L}_{dB}(d) = \bar{L}(d_0) + 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right), \quad (2.3)$$

onde n indica o expoente de perdas, o qual caracteriza a intensidade da perda e deriva do ambiente de propagação [11], d_0 é a distância de referência determinada pelas medições do receptor e d é a distância entre a origem (TX) e o destino (RX). A variável \bar{L} indica a média conjunta de todos os valores possíveis de perda de caminho para determinado valor de d . Algumas características importantes encontram-se abaixo:

- $d_0 = 1 \text{ Km} \Rightarrow$ Sistema de grande área de cobertura;
- $d_0 = 1 \text{ a } 100 \text{ m} \Rightarrow$ Sistema de pequena área de cobertura;
- $n = 2 \Rightarrow$ Espaço livre;
- $2,7 \leq n \leq 3,5 \Rightarrow$ Rádio-celular em área urbana;
- $3 \leq n \leq 5 \Rightarrow$ Rádio-celular Urbano com sombreamento;
- $1,6 \leq n \leq 1,8 \Rightarrow$ Ambiente *Indoor* com Los;
- $4 \leq n \leq 6 \Rightarrow$ Ambiente *Indoor* obstruído.

Com base nas características do ambiente e nas condições acima mencionadas, define-se os valores de d_0 e n . A escolha correta do valor do expoente de perdas é fundamental para obter estimativa próxima da realidade e não superestimar ou subestimar o valor de perda de caminho.

3 INFRAESTRUTURA E METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO

Este capítulo aborda primeiramente a metodologia aplicada para o desenvolvimento do trabalho. Em seguida é descrita a infraestrutura física dos prédios acadêmico e administrativo, para os quais foram realizadas as análises da rede sem fio. Em seguida, abordam-se as principais informações dos *datasheets* dos equipamentos utilizados para a comunicação sem fio, além das informações obtidas por meio do relatório da Cisco Prime. Esses dados são relevantes para a análise dos resultados obtidos após as medições dos sinais.

3.1 Metodologia

O desenvolvimento deste trabalho foi iniciado abordando a demanda por análises das redes 802.11 devido a seu grande crescimento no mercado e recorrentes problemas com a qualidade do serviço. Após isso, foi feita uma revisão bibliográfica que abordam os aspectos teóricos que descrevem a natureza desvanecente do sinal eletromagnético propagado e os padrões estabelecidos e utilizados comumente para a comunicação sem fio.

Para iniciar os estudos práticos, foi levantado com a equipe técnica informações referentes a metodologia utilizada para montar as redes 802.11 nos campus da Unipampa. Basicamente, o principal relatório utilizado é o extraído do *software* Cisco Prime que utilizam as informações da planta baixa, materiais da construção do prédio e especificações de qualidade buscada pela equipe projetista. Portanto, esse relatório foi analisado e verificado se as projeções feitas por ele correspondem a realidade após a instalação.

A análise dos equipamentos utilizados na rede, que são relevantes para o trabalho proposto, também são realizados através dos *datasheets* disponibilizados pelo fornecedor. Além disso, foi realizado o mapeamento da disposição atual de todos os AP's (do inglês, *Access Point*) nos prédios, modo em que foram instalados e potência transmitida por cada um.

A obtenção da intensidade dos sinais eletromagnéticos foi realizada utilizando o *software* *WIFI Analyzer* sobre equipamentos de utilização comum (smartphones e notebooks). Os pontos de obtenção do sinal foram escolhidos de acordo com o tamanho das salas. Após as aferições, foram montados os mapas de calor que descrevem as intensidades dos sinais em todo o prédio. Com os mapas de calor, podem ser verificados os locais onde o sinal chega com pouca intensidade ou as zonas de sombra (regiões onde a presença de sinais é muito baixa ou nula) no qual a comunicação com o AP é comprometida. De posse de todas as informações acima mencionadas, foram indicadas as principais falhas e ajustes necessários para otimização da rede instalada.

3.2 Infraestrutura física do Campus Alegrete

Os prédios acadêmico e administrativo fazem parte de uma estrutura unificada e composta por três andares, os quais são ilustrados pela planta baixa do primeiro andar, mostrada na Figura 6. Na parte acadêmica, se encontram as salas de aula, laboratórios de informática, sala de desenho, auditório e salas de pesquisa, situados à direita na planta. Já na parte administrativa, são encontradas as salas dos professores, secretaria acadêmica, diretoria do campus e salas dos técnicos administrativos, localizados à esquerda da planta.

3.3 Análise dos *datasheets* dos AP's

São utilizados atualmente no campus Alegrete os seguintes modelos de AP's da marca Cisco: AIR-AP2802I-Z-K9, AIR-AP1832I-Z-K9, AIR-CAP2602I-T-K9 e o AIR-CAP1702I-Z-K9. Todos os AP's são gerenciados pelo Controlador Wireless Cisco 5508. As principais informações dos *datasheets* dos modelos descritos anteriormente encontram-se nas Tabelas 2 e 3. Verifica-se que cada modelo de AP apresenta características técnicas diferentes, especialmente relacionado com os ganhos das antenas, a tecnologia MIMO (*Multiple Input, Multiple Output*), largura de banda, taxa de dados da camada física (modelo ISO) do AP e a sensibilidade máxima.

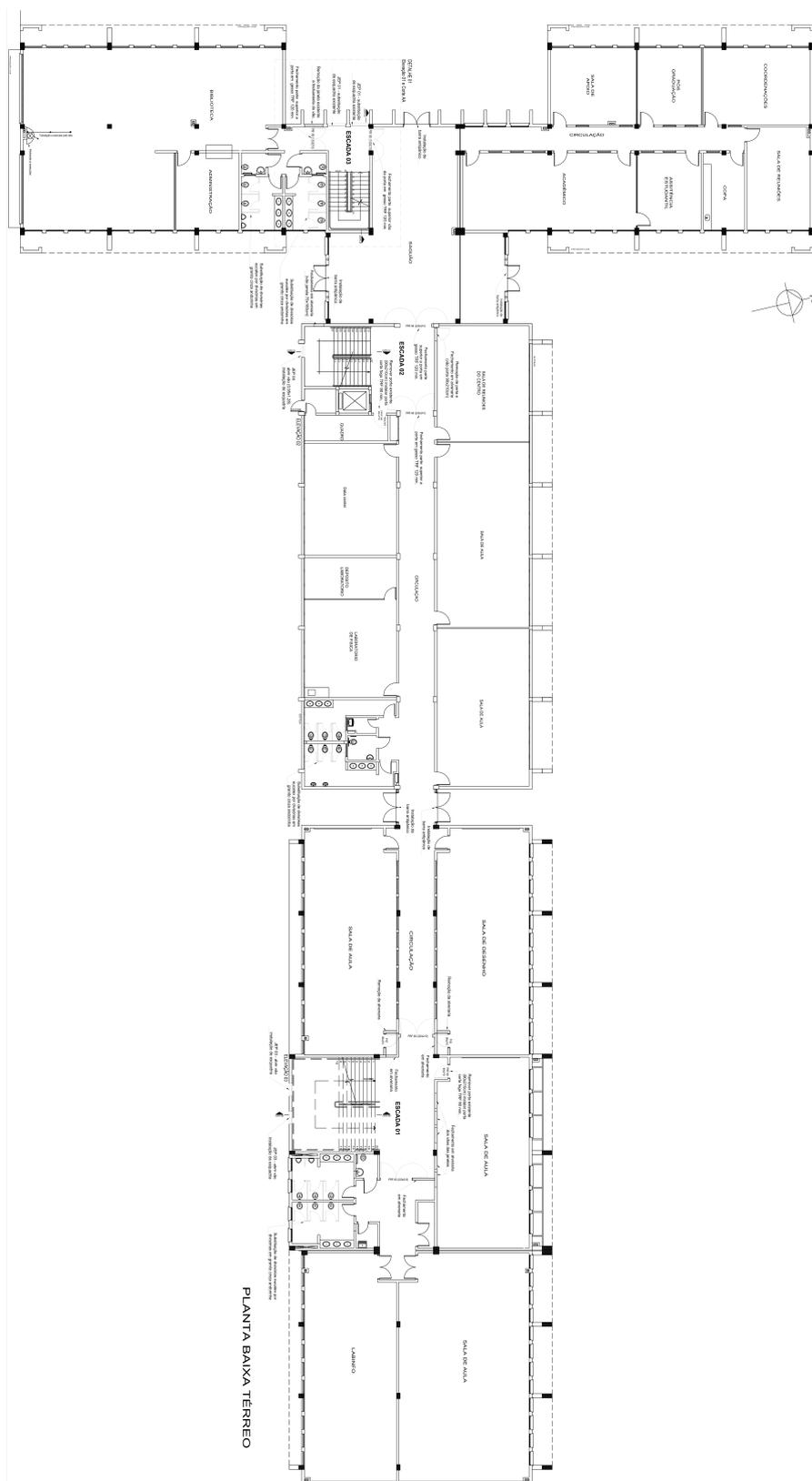
No *datasheet* do AP AIR-AP2802I-Z-K9 encontra-se o diagrama de irradiação das antenas em 2,4 GHz e 5 GHz, como pode ser visto nas Figuras 7, 8 e 9. Todos os AP's tem transmissão omnidirecional ao longo do Azimute, ou seja, no plano xy. Dessa forma, é extremamente importante que os AP's sejam instalados na horizontal, para que o sinal se propague nas direções adequadas. No caso particular do AP AIR-AP2802I-Z-K9, existem dois rádios em 5 GHz que trabalham como células concêntricas, o digrama da micro célula encontra-se na Figura 8 e da macro célula na Figura 9.

3.4 Relatório Cisco Prime

O DTIC é o setor responsável pelo projeto das redes sem fio dos campus da Unipampa. O projeto é realizado com base nas simulações feitas no software Cisco Prime, que analisa a planta baixa do local com os materiais que o compõem. O relatório final das simulações indicam o local onde os AP's devem estar localizados, assim como nível de sinal emitidos pelos AP's entre outras informações. Após a implementação não é realizado testes de performance, nível de sinal e cobertura pela equipe projetista.

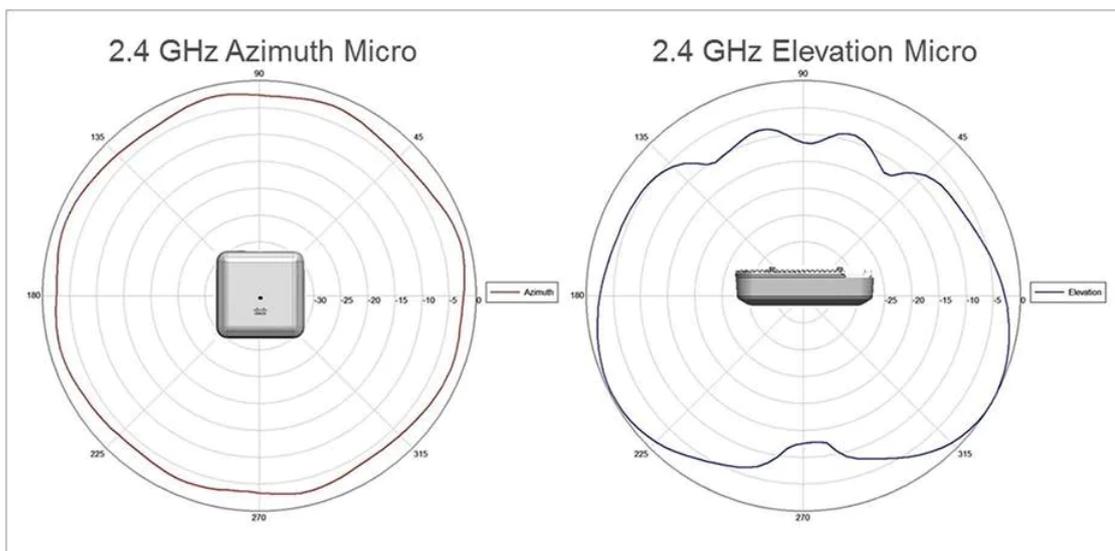
O resultado do relatório, que foi utilizado como base para o projeto implementado no campus Alegrete, será apresentado e comentado a seguir. O objetivo do relatório é indicar a melhor disposição dos AP's no ambiente em análise juntamente com a potência que deve ser emitida pelos mesmos. Foi feita a análise do prédio acadêmico separadamente do prédio administrativo e apenas do segundo andar.

Figura 6 – Planta Baixa dos prédios acadêmico e administrativo do primeiro andar.



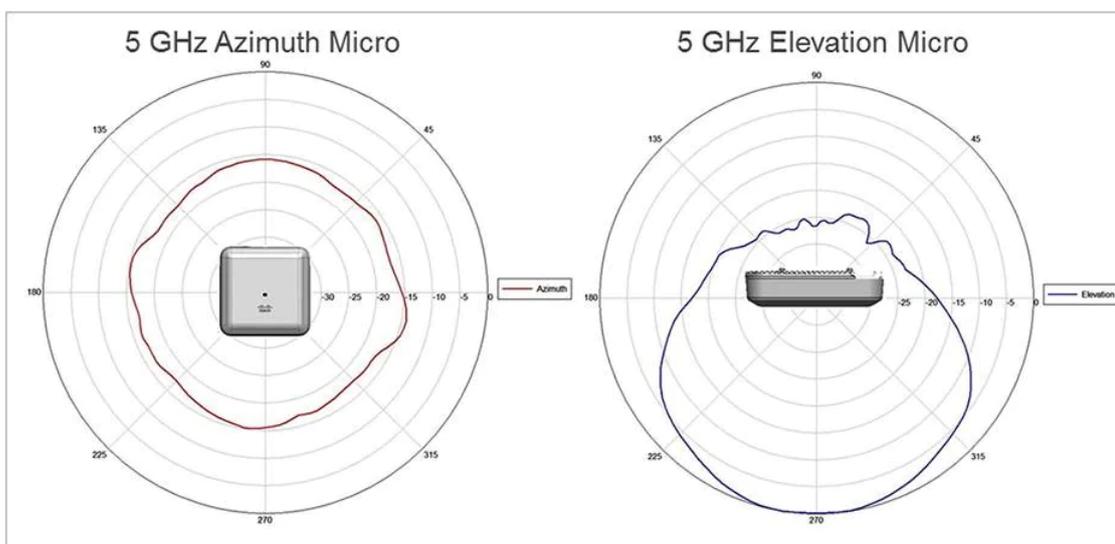
Fonte: Unipampa.

Figura 7 – Diagrama de irradiação da antena em 2,4 GHz.



Fonte: [12].

Figura 8 – Diagrama de irradiação da antena em 5 GHz micro.

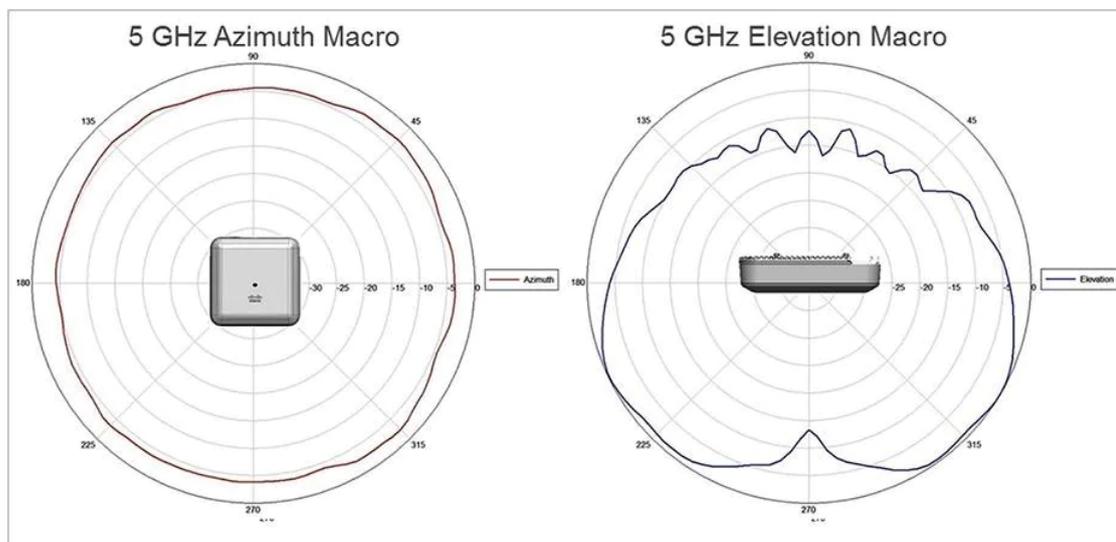


Fonte: [12].

A planta do prédio acadêmico utilizada na simulação pode ser verificada na Figura 10, utilizando o modelo de RF Cubos e Escritórios Murados, com extensão horizontal do piso igual a 80,77 metros e a extensão vertical igual a 15,85 metros. Uma observação importante para se destacar é a desatualização da planta utilizada para o projeto. Por exemplo, atualmente há janelas no meio do prédio, inexistindo na planta apresentada.

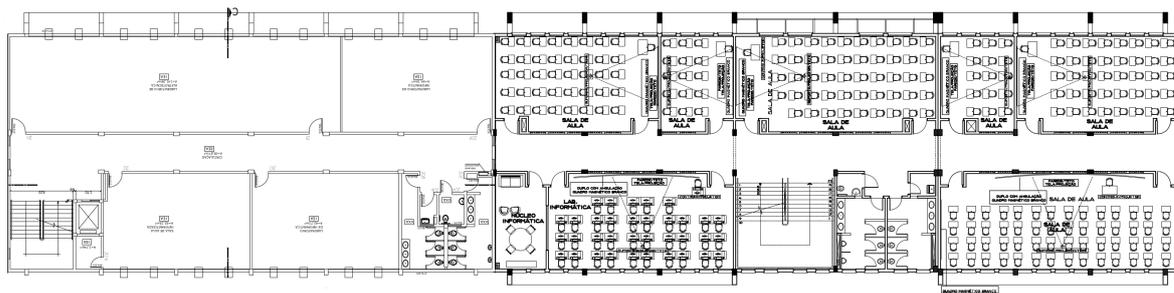
A planta do prédio administrativo é mostrada na Figura 11, tendo a mesma escolha de modelo de RF anterior, com extensão horizontal igual a 50 metros e extensão vertical igual a 14,63 metros. Também foram encontradas diferenças entre a planta utilizada e a real localização das salas e banheiros.

Figura 9 – Diagrama de irradiação da antena em 5 GHz macro.



Fonte: [12].

Figura 10 – Planta Baixa do segundo andar do prédio Acadêmico.



Fonte: Relatório Cisco Prime DTIC.

No caso de um prédio com vários andares, não é indicado empilhar AP's, a fim de diminuir ou minimizar a interferência co-canal. Outra consideração que é apontada no relatório é a análise do ambiente, pois um ambiente complexo pode exigir um estudo mais detalhado para verificar as suposições usadas em uma previsão de RF. Essa abordagem, muitas vezes chamada de pesquisa mínima do local, é mais apropriada nos ambientes com as seguintes condições: a cobertura total necessária, com zonas de sombra entre 2 e 10%; quando as características de RF do edifício variam em toda a área de cobertura; quando o tipo de edifício não é típico (por exemplo, arena, centro de convenções, bolsa de valores, hospitais, porões de concreto). Além disso, algumas condições e premissas são consideradas como:

- Potência de transmissão (Tx) do terminal de dados do usuário ≥ 15 dBm;
- Ganho da antena do usuário ≥ 0 dBi;

Tabela 2 – Principais informações dos AP's Cisco AIR-AP2802I-Z-K9 e AIR-AP1832I-Z-K9.

Código do produto	AIR-AP2802I-Z-K9
Antena	Antena Interna
	Rádio flexível (2,4 GHz ou 5 GHz) 2,4 GHz, ganho de 4 dBi, antena interna, omnidirecional em azimute 5 GHz, ganho de 6 dBi, antena direcional interna, largura de feixe de plano de elevação 90° Rádio dedicado de 5 GHz 5 GHz, ganho de 5 dBi, antena interna, omnidirecional em azimute
Características	4x4 MU-MIMO com três fluxos espaciais
	MRC
	Beamforming
	Canais de 20, 40, 80, 160 MHz
	Taxa de dados PHY de até 5,2 Gbps
Potência máxima de Tx	23 dBm nos rádios flexíveis 23 dBm no rádio dedicado de 5 GHz
Sensibilidade máxima de Rx	-101 dBm no rádio flexível de 2,4 GHz -93 dBm no rádio flexível de 5 GHz -93 dBm no rádio dedicado de 5 GHz
Código do produto	AIR-AP1832I-Z-K9
Antena	Antena Interna
	2,4 GHz, ganho de 3 dBi, omni interno, largura de feixe horizontal 360° 5 GHz, ganho de 5 dBi, omni interno, largura de feixe horizontal 360°
Características	3x3 MIMO com dois fluxos espaciais, MIMO de usuário único ou multiusuário
	MRC
	Beamforming
	Canais de 20, 40, 80 MHz
	Taxa de dados PHY de até 867 Mbps (80 MHz na 5 GHz)
Potência máxima de Tx	22 dBm na 2,4 GHz 23 dBm na 5 GHz
Sensibilidade máxima de Rx	-101 dBm na 2,4 GHz -96 dBm na 5 GHz

Fonte: Autoria própria baseado em [12] [13] [14] [15].

- Sensibilidade do receptor = $-89,72$ dBm para 11/12 Mbps com taxa de erro de pacote de 10%;
- Piso de ruído ambiental = -85 dBm;

Tabela 3 – Principais informações dos AP's Cisco AIR-CAP2602I-T-K9 e AIR-CAP1702I-Z-K9.

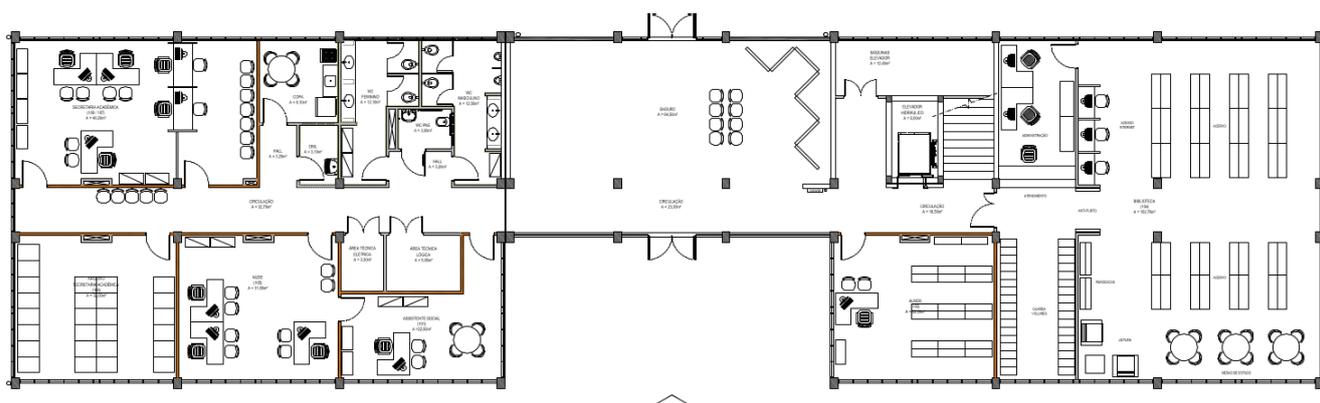
Código do produto	AIR-CAP2602I-T-K9
Antena	Antena Interna
	2,4 GHz, ganho de 4 dBi, omni interno, largura de feixe horizontal 360° 5 GHz, ganho de 4 dBi, omni interno, largura de feixe horizontal 360°
Características	3x4 MIMO com três fluxos espaciais
	MRC
	Beamforming
	Canais de 20, 40 MHz
	Taxa de dados PHY de até 450 Mbps (40 MHz na 5 GHz)
Potência máxima de Tx	22 dBm na 2,4 GHz 23 dBm na 5 GHz
	-100 dBm na 2,4 GHz -92 dBm na 5 GHz
Sensibilidade máxima de Rx	-100 dBm na 2,4 GHz -92 dBm na 5 GHz
Código do produto	AIR-CAP1702I-Z-K9
Antena	Antena Interna
	2,4 GHz, ganho de 4 dBi, omni interno, largura de feixe horizontal 360° 5 GHz, ganho de 4 dBi, omni interno, largura de feixe horizontal 360°
Características	3x3 MIMO com dois fluxos espaciais
	MRC
	Beamforming
	Canais de 20, 40, 80 MHz
	Taxa de dados PHY de até 867 Mbps (80 MHz na 5 GHz)
Potência máxima de Tx	22 dBm na 2,4 GHz 22 dBm na 5 GHz
	-101 dBm na 2,4 GHz -93 dBm na 5 GHz
Sensibilidade máxima de Rx	-101 dBm na 2,4 GHz -93 dBm na 5 GHz

Fonte: Autoria própria baseado em [16] [17].

- Capacidade: até 15 terminais de cliente de dados ou até 14 clientes VoIP por AP.

Nas Tabelas 4 e 5 encontram-se os critérios aplicados pelo DTIC nas simulações com a finalidade de definir os melhores locais para instalação dos AP's. De acordo com as especificações, foi indicado pelo software os locais onde é recomendado o posicionamento dos AP's no prédio acadêmico, conforme mostra a Figura 12, administrativo, mostrado na Figura 13. Nas Tabelas 6 e 7 encontram-se algumas informações como o nível de sinal que devem ser transmitidos pelos AP's e o ângulo que os mesmos devem ser posicionados. O tipo de AP indicado para o prédio acadêmico é o AP 1140 e, para o prédio administrativo,

Figura 11 – Planta Baixa do segundo andar do prédio Administrativo.



Fonte: Relatório Cisco Prime DTIC.

é o AP 2600e. Esse relatório pressupõe que os pontos de acesso serão montados no teto (atualmente os AP's estão instalados na vertical e não na horizontal, como recomenda o relatório).

Tabela 4 – Parâmetros definidos pelo DTIC para o prédio Acadêmico.

Extensão horizontal (metros)	78,76
Extensão vertical (metros)	12,01
Protocolo	802.11a/n/ac e 802.11b/g/n
Otimização para alto rendimento	Habilitado
802.11a/n/ac Taxa (Mbps)	10-12
802.11b/g/n Taxa (Mbps)	5-6

Fonte: Relatório Cisco Prime DTIC.

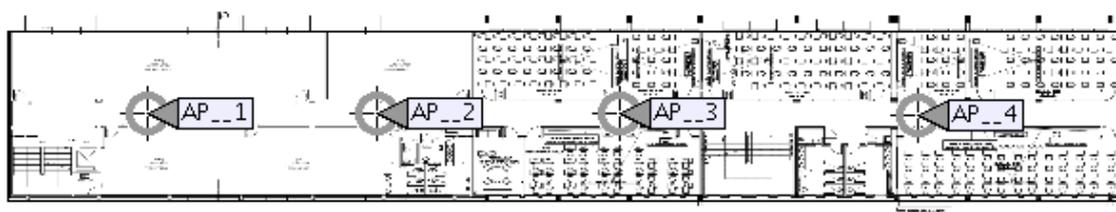
Tabela 5 – Parâmetros definidos pelo DTIC para o prédio Administrativo.

Extensão horizontal (metros)	40
Extensão vertical (metros)	11,70
Protocolo	802.11a/n/ac e 802.11b/g/n
802.11a/n/ac Taxa (Mbps)	Não especificado
802.11b/g/n Taxa (Mbps)	Não especificado

Fonte: Relatório Cisco Prime DTIC.

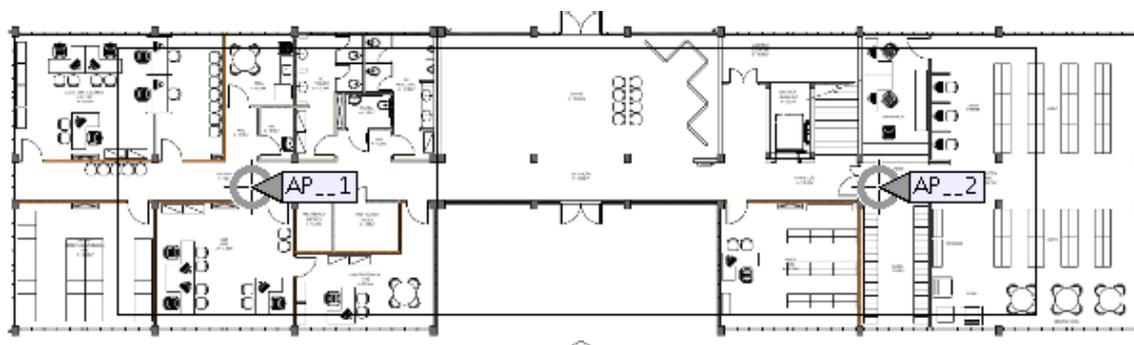
O relatório fornece mapas de calor com a cobertura WLAN (do inglês, *Wireless Local Network*) codificada por cores que representam a intensidade em dBm para pontos diversos no piso da planta baixa. A escala de intensidade é útil para descobrir a intensidade do sinal disponível (RSSI - *Received signal strength indication*) em cada seção de uma WLAN, mostrada na Tabela 8. Na Figura 14 e 15 são mostrados os mapas de calor dos prédios acadêmico e administrativo para sinais *wireless* utilizando a frequência 2,4 GHz e,

Figura 12 – Planta Baixa do segundo andar do prédio Acadêmico com as disposição dos AP's.



Fonte: Relatório Cisco Prime DTIC.

Figura 13 – Planta Baixa do segundo andar do prédio Administrativo com as disposição dos AP's.



Fonte: Relatório Cisco Prime DTIC.

Tabela 6 – Informações técnicas dos AP's do prédio Acadêmico.

Nome da Antena		Ângulo de azimute da antena (graus)	Potência de transmissão (dBm)
802.11a/n/ac	802.11b/g/n	802.11a/n/ac	802.11a/n/ac
		802.11b/g/n	802.11b/g/n
Internal-1140-5.0GHz	Internal-1140-2.4GHz	90	22

Fonte: Relatório Cisco Prime DTIC.

Tabela 7 – Informações técnicas dos AP's do prédio Administrativo.

Nome da Antena		Ângulo de azimute da antena (graus)	Potência de transmissão (dBm)
802.11a/n/ac	802.11b/g/n	802.11a/n/ac	802.11a/n/ac
		802.11b/g/n	802.11b/g/n
AIR-ANT2524DB-R-5GHz	AIR-ANT2524DB-R-2.4GHz	90	20

Fonte: Relatório Cisco Prime DTIC.

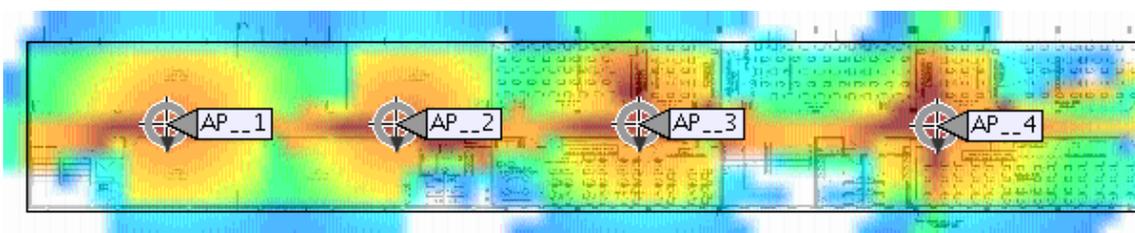
nas Figuras 16 e 17, para 5 GHz. Verifica-se que o sinal em 5 GHz decai mais rapidamente em relação ao sinal em 2,4 GHz. Desse modo, a cobertura do sinal em 5 GHz não abrange boa parte do ambiente. Os mapas do sinal em 2,4 GHz estimam cobertura mais homogênea, porém com algumas zonas de sombra em locais importantes, como as salas de aulas.

Tabela 8 – Escala de intensidade do sinal utilizada nos mapas de calor.

Escala de intensidade (RSSI Color Lookup)																		
-37	-39	-41	-43	-45	-47	-49	-51	-53	-55	-57	-59	-61	-63	-65	-67	-69	-71	-73
-35 dBm (Forte)														-75 dBm(Fraco)				

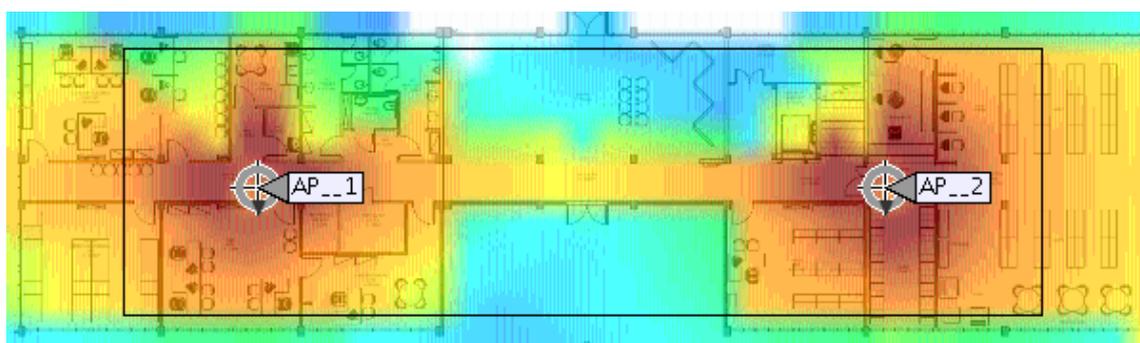
Fonte: Relatório Cisco Prime DTIC.

Figura 14 – Mapa de calor do segundo andar do prédio Acadêmico em 2,4 GHz.



Fonte: Relatório Cisco Prime DTIC.

Figura 15 – Mapa de calor do segundo andar do prédio Administrativo em 2,4 GHz.

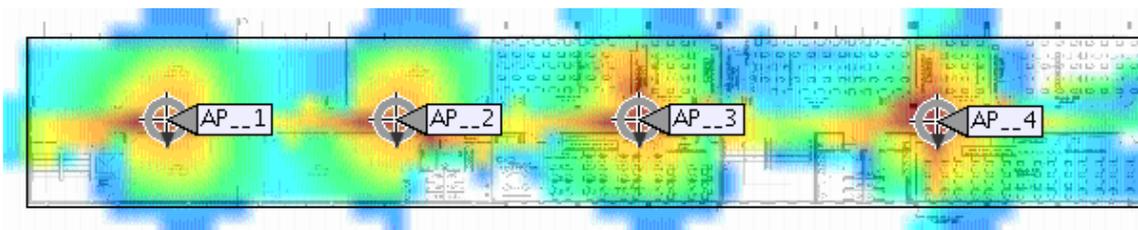


Fonte: Relatório Cisco Prime DTIC.

Nas Figuras 18 e 19 são mostrados os mapas de calor, os quais estimam as taxas de dados ao longo do ambiente para 2,4 GHz nos prédios acadêmico e administrativo e, nas Figuras 20 e 21, para 5 GHz. A intensidade do sinal impacta diretamente na taxa de dados do usuário e, nesses mapas, é possível verificar a estimativa de taxa para os ambientes. A escala de intensidade encontra-se na Tabela 9.

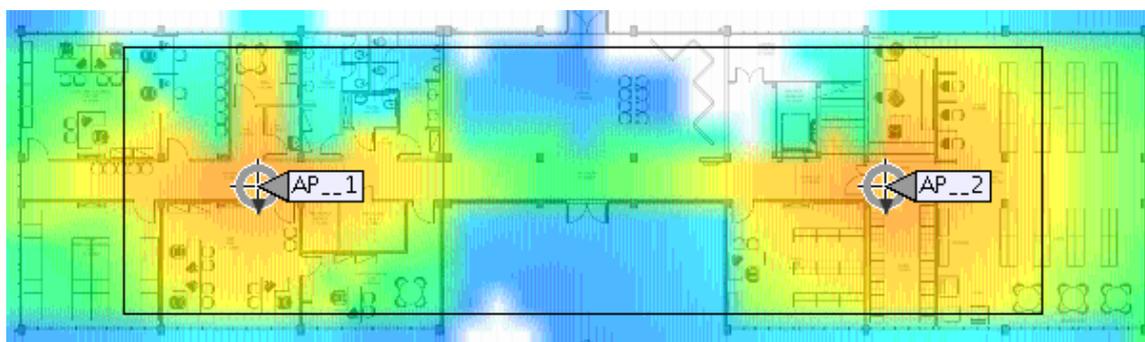
As informações extraídas do relatório em questão são importantes para a análise da rede sem fio do campus, uma vez que apresentam dados técnicos e simulações que serão a base para montagem da rede sem fio. Mesmo com alguns dados desatualizados, pode-se

Figura 16 – Mapa de calor do segundo andar do prédio Acadêmico em 5 GHz.



Fonte: Relatório Cisco Prime DTIC.

Figura 17 – Mapa de calor do segundo andar do prédio Administrativo em 5 GHz.



Fonte: Relatório Cisco Prime DTIC.

Tabela 9 – Escala de intensidade da taxa utilizada nos mapas de calor.

Escala de intensidade (Data Rate Color Lookup)																	
1	2	5.5	8.9	10.9	13.4	19.4	29.2	38.9	40.4	51.9	58.4	64.9	87.7	103.9	107.9	116.9	121.4
129.9	155.9	169.9	215.9	242.9	299.9	323.9	364.4	404.9	485.9	584.9	877.4	1169.9	1170				
1 Mbps																1170 Mbps	

Fonte: Relatório Cisco Prime DTIC.

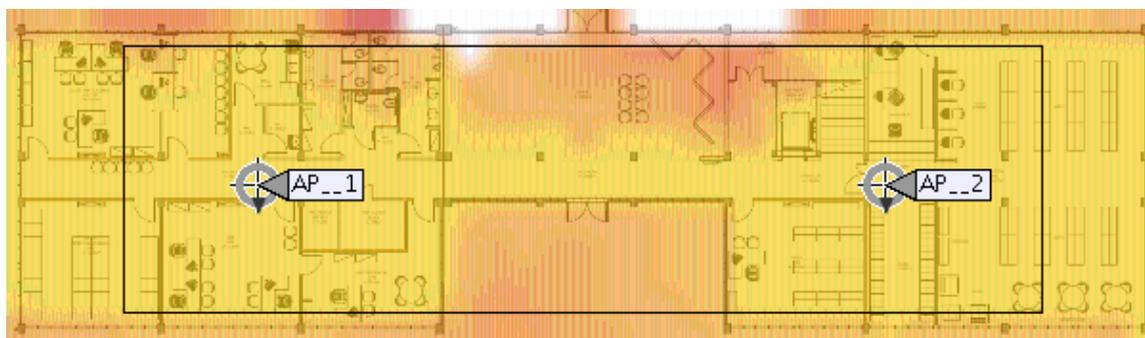
Figura 18 – Mapa de calor da taxa do segundo andar do prédio Acadêmico em 2,4 GHz.



Fonte: Relatório Cisco Prime DTIC.

encontrar as principais limitações, parâmetros de recepção e transmissão, taxa de dados para determinado nível de sinal, além dos mapas de calor.

Figura 19 – Mapa de calor da taxa do segundo andar do prédio Administrativo em 2,4 GHz.



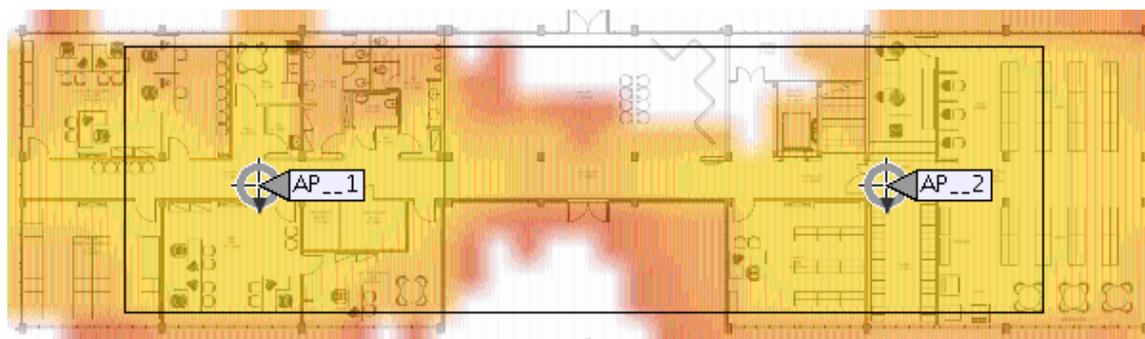
Fonte: Relatório Cisco Prime DTIC.

Figura 20 – Mapa de calor da taxa do segundo andar do prédio Acadêmico em 5 GHz.



Fonte: Relatório Cisco Prime DTIC.

Figura 21 – Mapa de calor da taxa do segundo andar do prédio Administrativo em 5 GHz.



Fonte: Relatório Cisco Prime DTIC.

4 ANÁLISE E RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados das medições realizadas nos prédios acadêmico e administrativo, nas duas faixas de frequência trabalhados pelos AP's. Com base nos resultados obtidos com os mapas de calor, serão indicadas alterações para a melhoria da performance da rede sem fio do campus nesses prédios.

Devido ao contexto do momento em que foi desenvolvido o trabalho, onde houve restrição de acesso ao campus, algumas limitações implicaram na falta de medições no prédio administrativo e na indisponibilidade de equipamentos. Estava previsto a utilização de um analisador de espectro, dispositivo profissional que realiza a medição do sinal com maior precisão, porém não foi possível utilizá-lo. Além disso, a aferição do sinal foi realizada somente nas salas liberadas pela coordenação e corredores, não abrangendo as salas dos professores e administrativas. Como o campus estava com restrição de acesso, alguns AP's estavam inoperantes para economia de energia. Essa informação foi passada somente após a realização das medidas e não foram informados quais estavam desligados nos dias das aferições.

4.1 Aferição da intensidade de sinal

A fim de avaliar a intensidade de sinal foram definidos alguns critérios para a aferição. São eles:

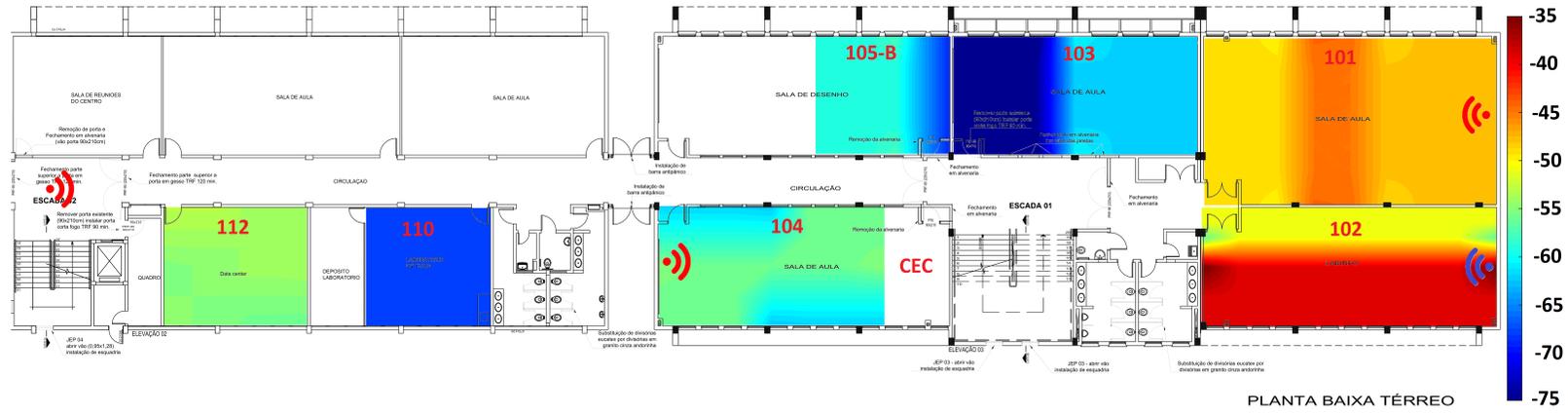
- As medidas foram feitas com um celular da marca ASUS modelo ZenFone Max Shot;
- Foi utilizado o software WiFi Analyzer para obter a intensidade do sinal em 2,4 GHz e 5 GHz;
- A discretização da sala foi feita com 1 metro de distância das paredes, varrendo de 3 em 3 metros aproximadamente;
- Altura em relação ao chão de aproximadamente 1 metro;

A seguir, serão apresentados os mapas de calor que informam a intensidade de sinal da rede sem fio nas frequências de 2,4 GHz e 5 GHz. A medida foi realizada nas salas de aula e corredores do prédio administrativo. O símbolo da rede sem fio representa os AP's instalados em cada andar dos prédios. Apenas o AP localizado no corredor do primeiro andar do prédio acadêmico encontra-se instalado no teto. Todos os outros estão instalados na parede, posicionado com ângulo de 90 graus em relação ao Azimute. A escala de intensidade em dBm encontra-se no lado direito dos mapas.

Nas Figuras 22, 23 e 24 encontram-se os mapas de calor dos três andares do prédio acadêmico, na frequência de 2,4 GHz. A intensidade do sinal apresenta degradação

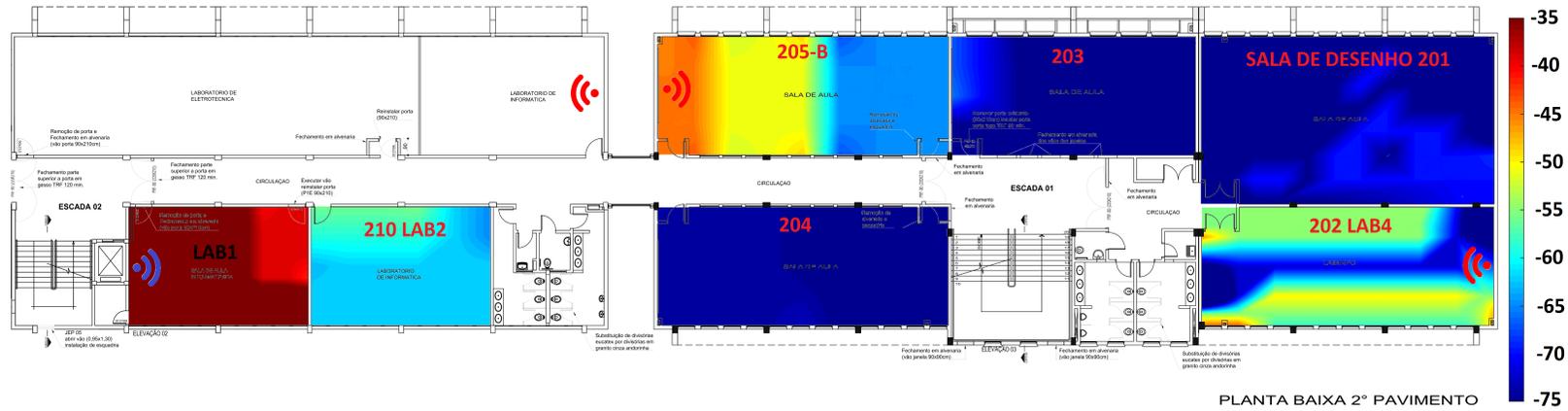
principalmente nas salas 103, 201, 202, 203, 204, 301, 303, 304 e 305. Essas salas apresentam baixa cobertura pela falta de AP's instalados, o sinal emitido pelos AP's das salas vizinhas degradam significativamente devido aos obstáculos principais que são as paredes. Algumas destas salas tem um AP instalado e, conforme informado pelo DTIC, estavam inoperantes no momento das medidas para economia de energia. As salas com AP's instalados apresentam uma excelente cobertura de sinal e as salas vizinhas, sem AP, conseguem uma cobertura aceitável em alguns casos. Outro aspecto relevante é a interferência causada pelos roteadores utilizados pela vizinhança do campus, que em algumas salas apresentavam níveis de sinal relativamente altos nos mesmos canais dos AP's. Em algumas salas percebe-se um decaimento mais abrupto do sinal, possivelmente causado pelas interferências.

Figura 22 – Mapa de calor do primeiro andar do prédio Acadêmico em 2,4 GHz.



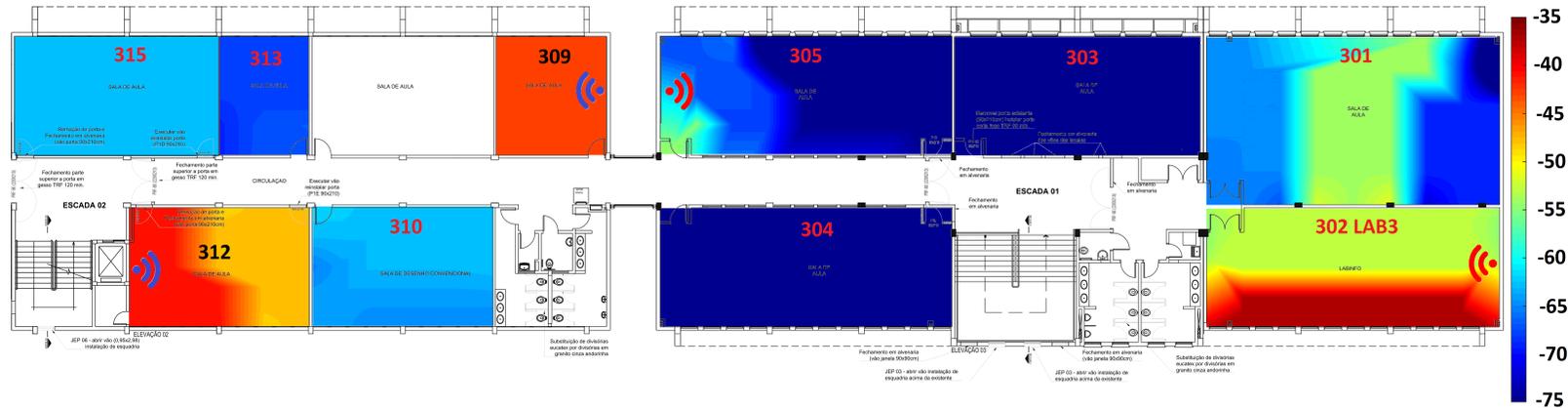
Fonte: Autoria própria.

Figura 23 – Mapa de calor do segundo andar do prédio Acadêmico em 2,4 GHz.



Fonte: Autoria própria.

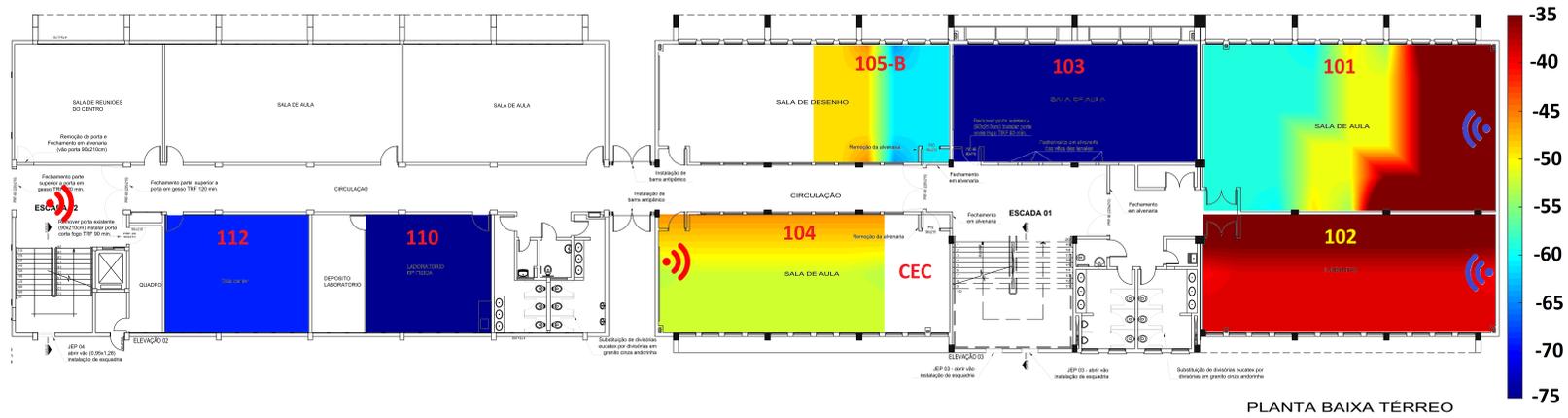
Figura 24 – Mapa de calor do terceiro andar do prédio Acadêmico em 2,4 GHz.



Fonte: Autoria própria.

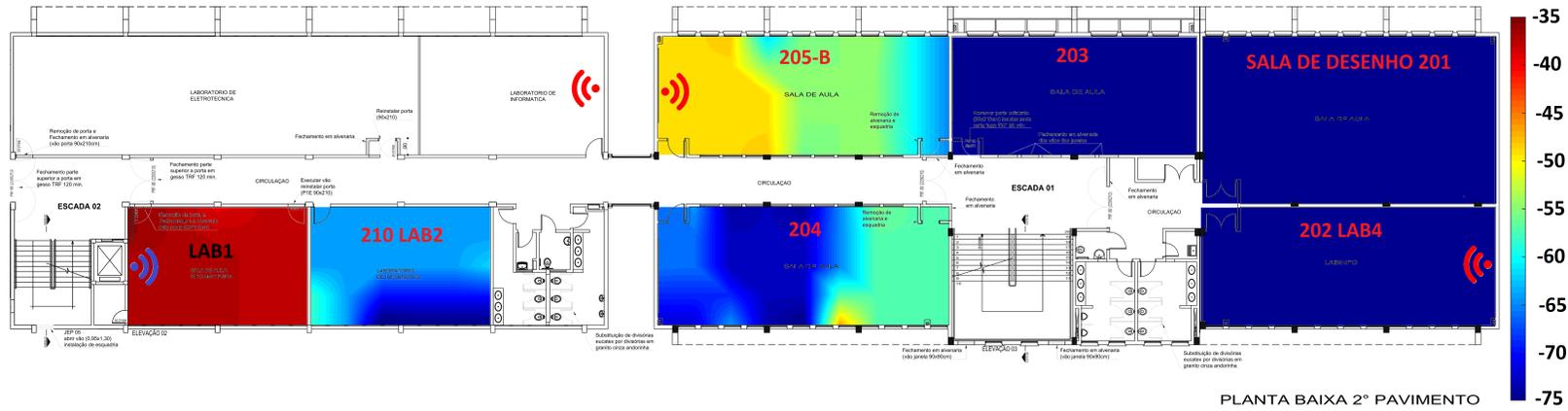
Nas Figuras 25, 26 e 27 podem ser verificados os mapas de calor do prédio acadêmico na frequência de 5 GHz. Todas as salas com degradação do sinal informadas anteriormente na frequência de 2,4 GHz apresentam cobertura reduzida em 5 GHz. Além disso, as salas 110, 210, 310, 315 apresentaram sinal com potência insuficiente para boa comunicação entre os dispositivos e o AP. Os sinais nessa frequência degradam mais rapidamente que os sinais na faixa de frequência mais baixa, impactando diretamente na cobertura das salas sem AP's instalados. Todas as considerações feitas anteriormente podem ser aplicadas a análise dos mapas na 5 GHz. Nesse caso, a intensidade dos sinais medidos emitidos pelos roteadores da vizinhança, na frequência em questão, não apresentaram valores tão altos quanto anteriormente.

Figura 25 – Mapa de calor do primeiro andar do prédio Acadêmico em 5 GHz.



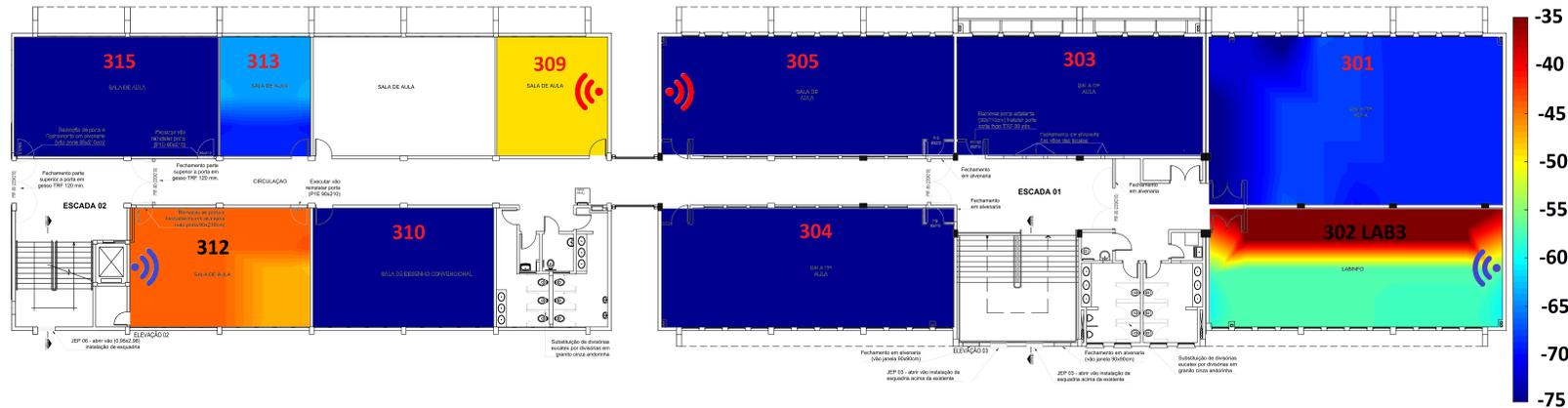
Fonte: Autoria própria.

Figura 26 – Mapa de calor do segundo andar do prédio Acadêmico em 5 GHz.



Fonte: Autoria própria.

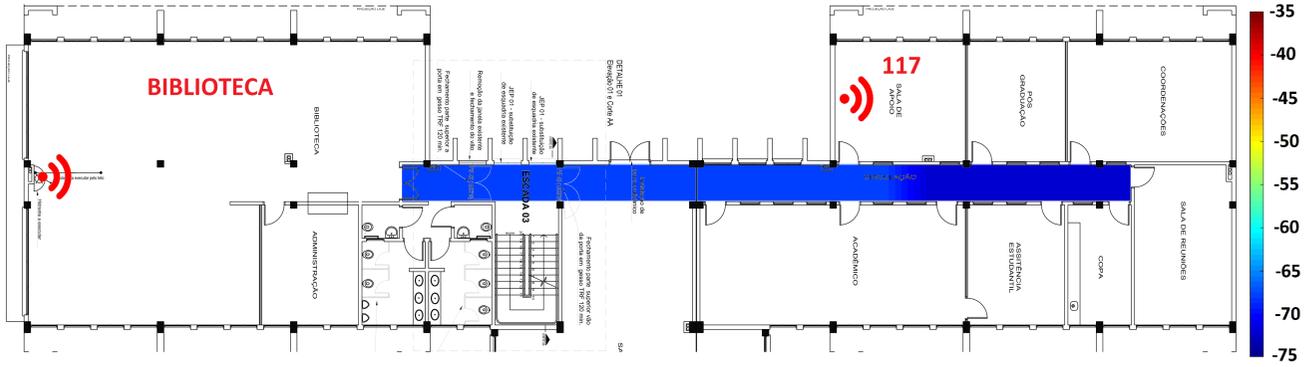
Figura 27 – Mapa de calor do terceiro andar do prédio Acadêmico em 5 GHz.



Fonte: Autoria própria.

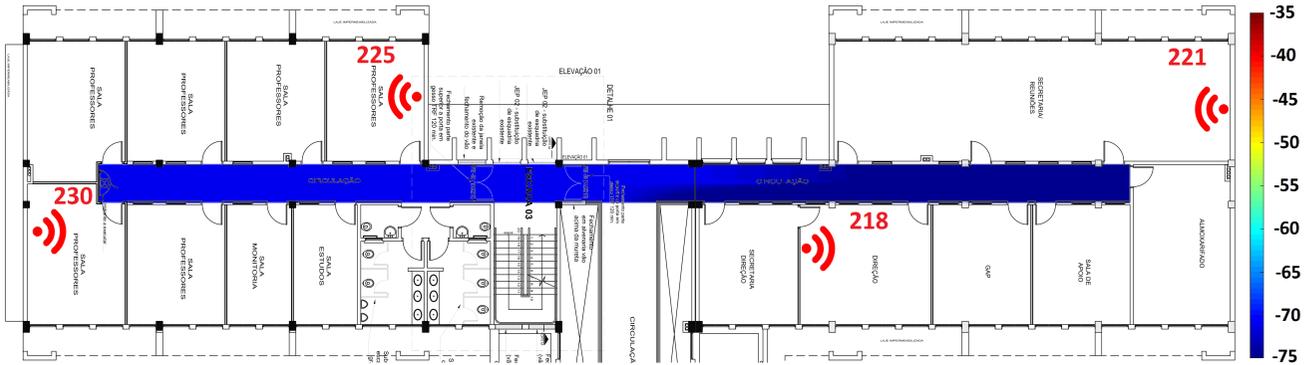
Os mapas de calor do prédio administrativo nas frequências de 2,4 GHz e 5 GHz podem ser verificados, respectivamente, nas Figuras 28, 29 e 30 e nas Figuras 31, 32 e 33. No prédio administrativo foi possível realizar a medição do sinal nos corredores e identificar a localização do AP's nas salas. Como não foi possível realizar as medidas nas salas, as informações acerca da cobertura de sinal é insuficiente. Porém, algumas suposições podem ser feitas. No terceiro andar não há, atualmente, nenhum AP instalado, e as medidas realizadas no corredor, nas duas faixas de frequências, indicam que a cobertura do sinal é insuficiente para garantir uma comunicação eficiente entre os AP's e os usuários nessa região. No primeiro e segundo andares verificou-se que os sinais na frequência de 2,4 GHz apresentaram valores menores que -60 dBm de intensidade, porém, na frequência de 5 GHz apresentam uma boa cobertura. Essa baixa intensidade do sinal pode ser causada pelos diversos roteadores dos arredores e dos AP's do prédio acadêmico, resultando numa alta interferência.

Figura 28 – Mapa de calor do primeiro andar do prédio Administrativo em 2,4 GHz.



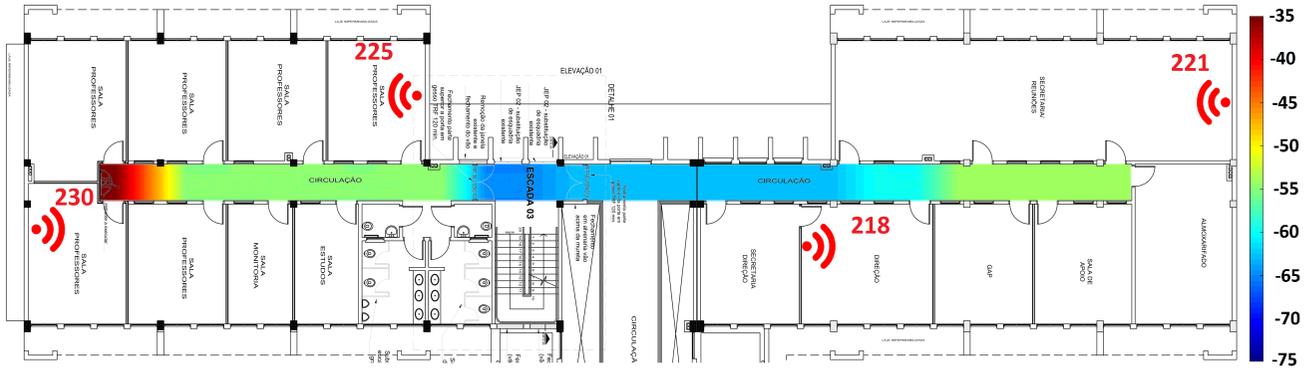
Fonte: Autoria própria.

Figura 29 – Mapa de calor do segundo andar do prédio Administrativo em 2,4 GHz.



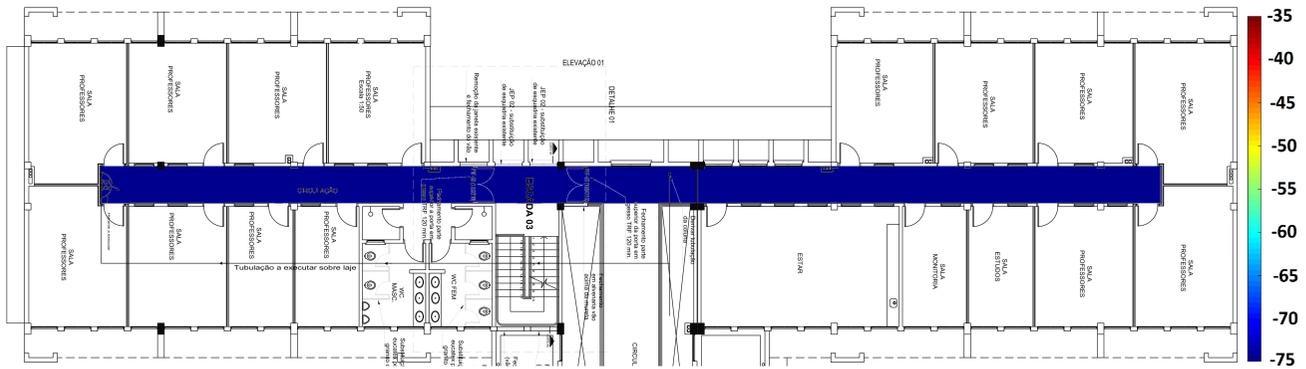
Fonte: Autoria própria.

Figura 32 – Mapa de calor do segundo andar do prédio Administrativo em 5 GHz.



Fonte: Autoria própria.

Figura 33 – Mapa de calor do terceiro andar do prédio Administrativo em 5 GHz.



Fonte: Autoria própria.

Verificou-se que alguns AP's foram instalados próximos entre si, seja horizontalmente ou verticalmente. Dentre os canais disponíveis, três não interferem entre si, são eles os canais 1, 6 e 11 com largura de banda de 20 MHz. O controlador *wireless* utilizado na infraestrutura da rede é o responsável por fazer a escolha de quais canais devem ser distribuídos entre os AP's, de modo a garantir que não haja interferência entre os dispositivos de acesso. Além disso, a intensidade do sinal transmitido por cada AP também é ajustada de acordo com a localização dos AP's vizinhos. Vale ressaltar que a rede sem fio não estava sendo utilizada no momento das medidas. Em um ambiente dinâmico haveria muita variação nos níveis de sinal, interferências construtivas e destrutivas, obstáculos, utilização do recurso de direcionamento de sinal (*Beamforming*), entre outros, que poderiam interferir no resultado dos mapas de calor.

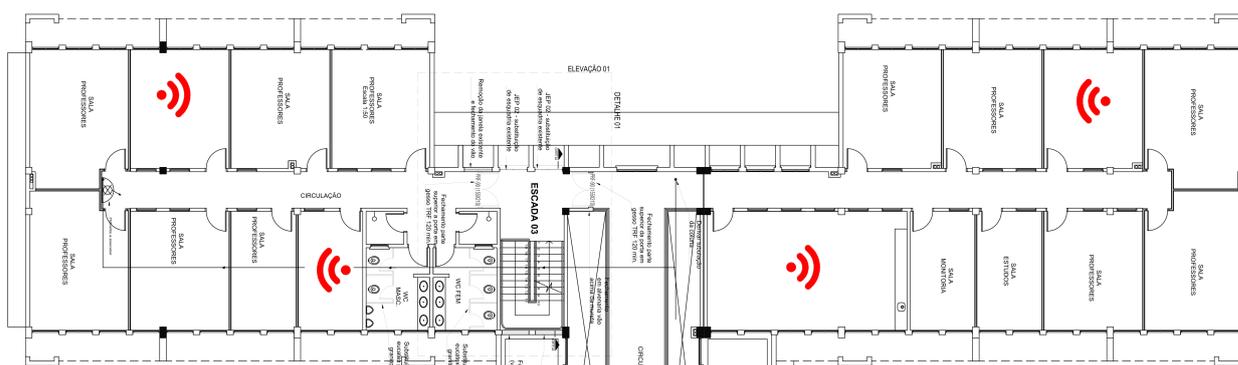
4.2 Alterações indicadas

Com base no levantamento, estudo e análises realizadas, este trabalho propõe algumas mudanças na estrutura *wireless* para solucionar os problemas relatados anteriormente. A posição dos AP's atualmente é diferente do indicado pelo fabricante, estando instalado na vertical. Para melhor distribuição do sinal, o ideal é instalar o AP no teto e no meio da sala, resultando na transmissão omnidirecional em Azimute, buscando a otimização da distribuição do sinal entregue pela antena do AP, conforme mostrado no diagrama de irradiação, a Figura 7.

A capacidade de usuários conectados ao AP é de 2048, porém dispositivos utilizando a rede simultaneamente é de até 24 usuários, sendo que o aumento da base usando simultaneamente implica em redução da taxa, conforme relatado/descrito em [18]. Para uso em salas de aulas com capacidade para muitos alunos, recomenda-se a instalação de um AP para uso dedicado e, com isso, obtém-se uma distribuição de sinal com potência suficiente para garantir uma boa SNR o que possibilitaria maiores taxas de dados devido ao uso de modulações superiores.

Com base no mapa de calor do segundo andar do prédio administrativo (Figura 32), verifica-se que a distribuição dos AP's está adequada para uma boa cobertura, pois a intensidade de sinal está entre -35 e -65 dBm. É indicado que sejam instalados AP's nas salas do terceiro andar, conforme mostra a Figura 34, na posição horizontal e no meio das salas. Além disso, propõe-se a distribuição dos AP's e posições ligeiramente diferentes dos locais de instalação empregados no segundo andar, de modo que evite interferência e o sinal seja distribuído uniformemente ao logo da sala.

Figura 34 – Indicação para a localização dos AP's ao longo do terceiro andar do prédio Administrativo.



Fonte: Autoria própria.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou uma análise da rede sem fio dos prédios administrativo e acadêmico da Unipampa no campus Alegrete, avaliando o nível de sinal dos ambientes, modo de instalação e localização dos AP's. Com essa análise prática da intensidade do sinal, foi possível verificar os principais pontos em que a cobertura de sinal é insuficiente para a comunicação entre os dispositivos e os AP's. Outros aspectos teóricos foram abordados para embasar este trabalho, como as principais informações do padrão 802.11, que é utilizado na comunicação sem fio, e a natureza desvanecente do sinal eletromagnético, com os principais modelos de propagação.

Foram identificados pontos onde a cobertura não está adequada para a comunicação sem fio, causados principalmente pelo posicionamento dos AP's ou a falta deles. Sendo possível ampliar a quantidade de pontos de acesso distribuídos ao longo das salas, a qualidade da cobertura será maximizada. A legislação brasileira limita a potência emitida pelos equipamentos de rádio e, além disso, os dispositivos sem fio também trabalham emitindo níveis baixos de sinal para maior durabilidade da bateria. Portanto, mesmo que os AP's irradiassem potências maiores, os sinais recebidos por eles, com origem nos dispositivos cliente, poderiam ter um nível de potência mais baixo do que a sensibilidade de seu receptor. Outra forte limitação observada é a quantidade de usuários possíveis navegando simultaneamente em um ponto de acesso com garantia de altas taxas. Segundo os dados do fabricante, a qualidade da comunicação é reduzida quando mais de 24 dispositivos utilizam ao mesmo tempo a conexão em apenas um AP. Normalmente, as turmas são compostas por 50 alunos e, portanto, o acesso à internet nessas aulas por todos os alunos ao mesmo tempo seria fortemente afetada, implicando em uma experiência ruim do usuário em função de baixas taxas de dados.

Como trabalhos futuros, propõe-se utilizar o analisador de espectro para medir o nível de sinal das salas e comparar com os valores aferidos pelo dispositivo utilizado neste trabalho. Além disso, recomenda-se também a realização de uma análise dos sinais também em dias em que a rede está sendo utilizada pela comunidade acadêmica, verificando quais são as diferenças entre a cobertura do sinal sem a utilização da rede e sendo utilizada. Alguns softwares que fazem a simulação de cobertura de sinal são o AirMagnet, Ekahau e o TamoGraph. Essas ferramentas não são gratuitas, no entanto podem oferecer um bom suporte com informações úteis simuladas da rede, tanto em novos projetos quanto na otimização da rede existente.

REFERÊNCIAS

- 1 AMARAL, B. do. *Uso do Wi-Fi no Brasil aumenta 8,1% em uma semana por conta do coronavírus, diz Opensignal*. 2020. Data de acesso: 11 de dezembro de 2020. Disponível em: <<https://teletime.com.br/06/04/2020/uso-do-wi-fi-no-brasil-aumenta-81-em-uma-semana-por-conta-do-coronavirus-diz-opensignal/>>. Citado na página 17.
- 2 FERREIRA, S. F. P. Influência do excesso de atraso do canal na taxa de transmissão para o planejamento de sistemas celulares. dezembro 2010. Citado 3 vezes nas páginas 21, 22 e 23.
- 3 OUGHTON, E. J. et al. Revisiting wireless internet connectivity: 5g vs wi-fi 6. *Telecommunications Policy*, v. 45, n. 5, p. 102127, 2021. ISSN 0308-5961. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030859612100032X>>. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 22.
- 4 HUAWEI. *What Are 802.11ac and 802.11ac Wave 2*. 2020. Data de acesso: 11 de dezembro de 2020. Disponível em: <<https://support.huawei.com/enterprise/ru/doc/EDOC1100081215>>. Citado na página 21.
- 5 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 3: Enhancements for Very High Throughput in the 60 GHz Band. *IEEE Std 802.11ad-2012 (Amendment to IEEE Std 802.11-2012, as amended by IEEE Std 802.11ae-2012 and IEEE Std 802.11aa-2012)*, p. 1–628, 2012. Citado na página 21.
- 6 DENG, D.-J. et al. On quality-of-service provisioning in ieee 802.11ax w lans. *IEEE Access*, v. 4, p. 6086–6104, 2016. Citado na página 21.
- 7 Verma, L.; Fakharzadeh, M.; Choi, S. Wifi on steroids: 802.11ac and 802.11ad. *IEEE Wireless Communications*, v. 20, n. 6, p. 30–35, 2013. Citado na página 22.
- 8 Ortiz Jr., S. Ieee 802.11n: The road ahead. *Computer*, v. 42, n. 7, p. 13–15, 2009. Citado na página 22.
- 9 BERGONSO, C. A. T. et al. Método para avaliação de aspectos de camada física e mac de redes 802.11. Pontifícia Universidade Católica de Campinas, 2012. Citado na página 21.
- 10 GRAMI, A. *Introduction to Digital Communications*. [S.l.]: Elsevier Science, 2015. ISBN 9780124076587. Citado na página 22.
- 11 RAPPAPORT, T. *Wireless Communications: Principles and Practice*. 2nd. ed. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice Hall PTR, 2001. ISBN 0130422320. Citado na página 24.
- 12 CISCO. *Cisco Aironet 2800 Series Access Points Data Sheet*. 2020. Data de acesso: 2 de maio de 2021. Disponível em: <<https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/wireless/aironet-2800-series-access-points/datasheet-c78-736497.html>>. Citado 3 vezes nas páginas 29, 30 e 31.
- 13 CISCO. *AIR-AP2802I-Z-K9 Datasheet*. 2020. Data de acesso: 2 de maio de 2021. Disponível em: <<https://www.router-switch.com/pdf/air-ap2802i-z-k9-datasheet.pdf>>. Citado na página 31.

- 14 CISCO. *Cisco Aironet 1830 Series Access Points Data Sheet*. 2020. Data de acesso: 2 de maio de 2021. Disponível em: <<https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/wireless/aironet-1830-series-access-points/datasheet-c78-735582.html>>. Citado na página 31.
- 15 CISCO. *AIR-AP1832I-Z-K9 Datasheet*. 2020. Data de acesso: 2 de maio de 2021. Disponível em: <<https://www.router-switch.com/pdf/air-ap1832i-z-k9-datasheet.pdf>>. Citado na página 31.
- 16 CISCO. *Cisco Aironet 2600 Series Access Points Data Sheet*. 2014. Data de acesso: 2 de maio de 2021. Disponível em: <https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/wireless/aironet-2600-series/data_sheet_c78-709514.html>. Citado na página 32.
- 17 CISCO. *Cisco Aironet 1700 Series Access Point Data Sheet*. 2018. Data de acesso: 2 de maio de 2021. Disponível em: <<https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/wireless/aironet-1700-series/datasheet-c78-732347.html>>. Citado na página 32.
- 18 CISCO. *Perguntas mais Frequentes sobre o access point Cisco Aironet*. 2010. Data de acesso: 10 de junho de 2021. Disponível em: <https://www.cisco.com/c/pt_br/support/docs/wireless/aironet-1200-series/8103-ap-faq.html>. Citado na página 49.