

Processo de Análise, Planeamento e Implementação das Redes para o Projeto dos Manuais Digitais da SRE

PROJETO DE MESTRADO

José Guilherme Lopes da Silva
MESTRADO EM ENGENHARIA INFORMÁTICA



UNIVERSIDADE da MADEIRA

A Nossa Universidade

www.uma.pt

maio | 2021

Processo de Análise, Planeamento e Implementação das Redes para o Projeto dos Manuais Digitais da SRE

PROJETO DE MESTRADO

José Guilherme Lopes da Silva
MESTRADO EM ENGENHARIA INFORMÁTICA

ORIENTADORA

Lina Maria Pestana Leão Brito

CO-ORIENTADOR

Eduardo Miguel Dias Marques



**Processo de Análise, Planeamento e Implementação das Redes para o
Projeto dos Manuais Digitais da SRE**

José Guilherme Lopes da Silva

Constituição do júri de provas públicas:

Karolina Baras, Professora Auxiliar, UMa, Presidente

Paulo Nazareno Maia Sampaio, Professor Titular, UNIFACS, Vogal

Eduardo Miguel Dias Marques, Professor Auxiliar, UMa, Vogal

junho 2021
Funchal – Portugal

Resumo

Os projetos de digitalização do ensino estão progressivamente a integrar-se nas escolas, quer a nível nacional como a nível internacional. A digitalização do ensino é uma forma complementar de aprendizagem com recurso à tecnologia, que adiciona novas formas de aquisição de conhecimento aos métodos do ensino convencional. Em 2019, na Região Autónoma da Madeira (RAM) surgiu uma iniciativa de cariz tecnológico designada Projeto Manuais Digitais na qual os alunos, através de *tablets*, acedem aos manuais escolares e a uma plataforma de ensino-aprendizagem. O bom funcionamento deste projeto depende de redes de comunicação que garantam uma boa qualidade de serviço no acesso dos dispositivos aos conteúdos pedagógicos e a outros recursos didáticos de caráter digital.

A principal contribuição deste projeto de mestrado é a proposta de um processo claro, preciso e completo, para auxiliar as escolas na análise, planeamento e implementação de redes de comunicação que suportem o Projeto dos Manuais Digitais, com foco nas suas Redes de Área Local Sem Fios (sigla do inglês *Wireless Local Area Network*, WLAN). O processo foi criado tendo em conta a realidade das escolas da RAM, direcionado na avaliação das capacidades necessárias ao suporte dos utilizadores, das aplicações e nas questões de gestão, manutenção, segurança e desempenho.

Para a validação do processo proposto, este foi comparado com a metodologia de planeamento e projeto de redes informáticas apresentada pelo Edmundo Monteiro e Fernando Boa Vida [7], além disso, foi ainda aplicado como caso de estudo numa escola da RAM. A análise comparativa com esta metodologia revelou que o processo proposto possui as fases que são típicas numa metodologia de planeamento e projeto. Os resultados obtidos com a sua aplicação prática demonstraram que o mesmo é adequado para o planeamento destas redes, tendo em consideração as características físicas das escolas da RAM e dos seus recursos humanos, permitindo a estas um guia simplificado para um processo complexo e, assim, economizar tempo e recursos.

Palavras-chave: Digitalização do ensino, Projeto dos Manuais Digitais, Projeto de Redes de Comunicação, Redes Wi-Fi

Abstract

The digitalization of education projects are progressively being integrated into schools, both nationally and internationally. The digitization of education is a complementary form of learning using technology, which adds new ways of acquiring knowledge to conventional teaching methods. In 2019, in the Autonomous Region of Madeira (sigla do português *Região Autónoma da Madeira*, RAM), a technological initiative named Digital Manuals Project emerged, in which students, using tablets, access school textbooks and a teaching-learning platform. The proper functioning of this project depends on communication networks that guarantee a good quality of service in the access of the devices to the pedagogical contents and other didactic resources of digital character.

The main contribution of this master project is the proposal of a clear, precise and complete process, to assist schools in the analysis, planning and implementation of communication networks that support the Digital Manuals Project, focusing on their Wireless Local Area Networks (WLAN). The process was created taking into account the reality of RAM schools, aiming to access the necessary capacities to support users, applications and management, maintenance, security and performance issues.

For the validation of the proposed process, it was compared with the methodology of planning and design of computer networks presented by Edmundo Monteiro and Fernando Boa Vida [7], moreover, was also applied as a case study in a RAM school. The comparative analysis using this methodology revealed that the proposed process has the phases that are typical in a planning and project methodology. The results obtained with the practical application of the process showed that it is suitable for the planning of these networks, taking into account the physical characteristics of the RAM schools and their human resources, allowing them a simplified guide to a complex process and, thus, save time and resources.

Keywords: Digitalization of Education, Digital Manuals Project, Communication Networks Design, Wi-Fi Networks

Agradecimentos

Este trabalho culmina com o final do segundo ciclo no curso de Engenharia Informática. Um caminho longo que começou pela Licenciatura e agora com o Mestrado nesta área, marcado por algumas adversidades, mas também com muitas aprendizagens e superações. Terminada esta etapa que considero ter sido fundamental para o meu crescimento não só profissional como pessoal, resta-me deixar alguns agradecimentos como forma de manifestar a minha gratidão a algumas pessoas que me acompanharam durante esta fase e permitiram que a realização deste trabalho fosse possível:

À professora Lina Brito, orientadora e ao professor Eduardo Marques, co-orientador por todo o tempo dispensado no acompanhamento deste trabalho, pela motivação que transpareceram e por disponibilizarem os recursos necessários para a realização deste estudo.

Ao Engenheiro Filipe Freitas, Consultor Tecnológico Coordenador na Altice Portugal e ao Engenheiro Luís Gaspar, Chefe de Divisão de Tecnologias e Ambientes Inovadores de Aprendizagem na Direção Regional de Educação por disponibilizarem os meios para a minha envolvimento no Projeto dos Manuais Digitais.

Ao Duarte Cunha e Luís Aguiar, técnicos de informática e à professora Cátia Sousa coordenadora das TIC da Escola Básica e Secundária Gonçalves Zarco por toda a disponibilidade demonstrada no esclarecimento de dúvidas e no acompanhamento do processo de análise, planeamento e implementação das redes na escola.

Aos técnicos de informática, coordenadores das TIC e responsáveis pelo Projeto dos Manuais Digitais nas restantes escolas da RAM pela disponibilidade no acompanhamento das visitas às escolas e no esclarecimento de dúvidas no planeamento destas redes.

Gostava de deixar um agradecimento especial aos meus pais, à minha irmã e à minha namorada por todo o apoio que proporcionaram e pelos sentimentos de segurança, confiança e motivação que conseguiram transmitir, principalmente nos momentos mais difíceis.

Para terminar, deixo também uma palavra de agradecimento à restante família, amigos e colegas por me acompanharem e fazerem parte do meu percurso académico.

Índice

RESUMO	I
ABSTRACT	III
AGRADECIMENTOS	V
ÍNDICE DE FIGURAS	X
ÍNDICE DE TABELAS	XIV
LISTA DE ACRÓNIMOS	XVI
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 MOTIVAÇÃO	2
1.2 OBJETIVOS	3
1.3 ESTRUTURA DO DOCUMENTO.....	3
2 ESTADO DA ARTE	5
2.1 ESTUDO E EVOLUÇÃO DO PADRÃO IEEE 802.11	5
2.2 TÓPICOS FUNDAMENTAIS NO PLANEAMENTO DE UMA REDE DE ÁREA LOCAL SEM FIOS	12
2.2.1 <i>Planeamento por cobertura</i>	13
2.2.2 <i>Planeamento por capacidade</i>	20
2.2.3 <i>Site Survey</i>	23
2.3 DIGITALIZAÇÃO DO ENSINO.....	25
2.3.1 <i>Projetos relacionados com a digitalização do ensino</i>	25
2.3.2 <i>Influência das redes de comunicação de dados</i>	28
2.4 CONCLUSÃO	29
3 CARATERIZAÇÃO DO PROBLEMA	31
3.1 PROJETO DOS MANUAIS DIGITAIS	31
3.2 ESCOLA BÁSICA E SECUNDÁRIA GONÇALVES ZARCO.....	33
3.2.1 <i>Infraestrutura física</i>	34
3.2.2 <i>Utilizadores e aplicações</i>	36
3.2.3 <i>Infraestrutura de rede</i>	39
3.2.4 <i>Condicionantes do projeto</i>	42
3.2.5 <i>Análise do problema e caracterização das necessidades</i>	42
3.3 CONCLUSÃO	45
4 PROCESSO DE ANÁLISE, PLANEAMENTO E IMPLEMENTAÇÃO	46
4.1 DESCRIÇÃO DO PROCESSO	46
4.1.1 <i>Problema e Requisitos</i>	49
4.1.2 <i>Validação da Rede</i>	51
4.1.3 <i>Projeto da Rede</i>	53
4.1.4 <i>Plano de Implementação</i>	54
4.1.5 <i>Acompanhamento da Implementação</i>	55
4.1.6 <i>Validação da Implementação</i>	56
4.2 CONCLUSÃO	57

5 CASO DE ESTUDO	60
5.1 PROBLEMA E REQUISITOS.....	60
5.2 VALIDAÇÃO DA REDE.....	61
5.2.1 Validação da rede Wi-Fi	61
5.2.2 Validação da rede cablada	68
5.3 PROJETO DA REDE	69
5.3.1 Dimensionamento da rede Wi-Fi.....	69
5.3.2 Dimensionamento das ligações.....	78
5.3.3 Especificação	81
5.3.4 Desenho da solução.....	84
5.4 PLANO DE IMPLEMENTAÇÃO	86
5.5 ACOMPANHAMENTO DA IMPLEMENTAÇÃO.....	87
5.6 VALIDAÇÃO DA IMPLEMENTAÇÃO	88
5.6.1 Validação da rede Wi-Fi	88
5.6.2 Testes	93
5.7 CONCLUSÃO	94
6 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	97
6.1 SÍNTESE E PRINCIPAIS CONCLUSÕES	97
6.2 TRABALHOS FUTUROS.....	99
6.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS	100
REFERÊNCIAS.....	101
ANEXOS.....	104
ANEXO A - DISPOSIÇÃO E DESCRIÇÃO DOS ESPAÇOS	104
ANEXO B – ÁREAS DE UTILIZAÇÃO	109
ANEXO C – PRÉ-SURVEY PASSIVO E ATIVO	112
ANEXO D - SURVEY PREDITIVO.....	125
ANEXO E – DIMENSIONAMENTO DAS LIGAÇÕES	152
ANEXO F - PÓS-SURVEY ATIVO E PASSIVO.....	153
ANEXO G – CABLAGEM E LAYOUT DOS APs NO AMBIENTE	170
ANEXO H - ORÇAMENTO.....	175
ANEXO I – TEMPLATES.....	176
ANEXO J – TESTE DE ATENUAÇÃO.....	184
ANEXO K – CONFIGURAÇÕES	187

Índice de figuras

Figura 1 - Evolução do padrão IEEE 802.11	6
Figura 2 - Rótulos das normas 802.11n, 802.11ac e 802.11ax	8
Figura 3 - Exemplo de uma BSA que inclui todos os clientes exceto um (PC-5) [11]...13	
Figura 4 - Problema de energia assimétrica [11]	14
Figura 5 - Relação entre taxa de dados e tamanho da célula [11]	15
Figura 6 - MCS, taxas de dados, e tamanho de célula num cliente 802.11ac [11]	15
Figura 7 – Disposição dos canais na banda dos 2.4Ghz [11]	16
Figura 8 – Disposição dos canais na banda dos 5Ghz [11]	17
Figura 9 - Roaming limpo entre 2 APs [11]	17
Figura 10 - Pesquisa passiva no roaming	17
Figura 11 - Pesquisa ativa no roaming	18
Figura 12 - Processo de associação de um cliente a uma BSS [11].....	18
Figura 13 - Padrão de canal alternado na banda dos 2.4Ghz [11]	19
Figura 14 - <i>Layout</i> do canal em 3 dimensões na banda dos 2.4Ghz [11]	19
Figura 15 – Evolução do número de alunos por ano letivo no Projeto dos Manuais Digitais nas escolas da RAM	31
Figura 16 - Localização satélite da Escola Básica e Secundária Gonçalves Zarco	34
Figura 17 - Infraestrutura física da Escola Básica e Secundária Gonçalves Zarco.....	34
Figura 18 – Descrição e disposição dos espaços no piso 1 bloco A1	35
Figura 19 – Evolução do número de alunos por ano letivo no Projeto dos Manuais Digitais na Escola Básica e Secundária Gonçalves Zarco.....	37
Figura 20 – Diagrama físico da rede na Escola Básica e Secundária Gonçalves Zarco .40	
Figura 21 - Fluxograma do processo de Análise, Planeamento e Implementação das redes para o Projeto dos Manuais Digitais.....	47
Figura 22 - Trajeto realizado no <i>survey</i> das salas do piso 1 bloco A1.....	62
Figura 23 – <i>Heatmap</i> do RSSI no piso 1 bloco A1	64
Figura 24 – <i>Heatmap</i> do <i>Throughput</i> no piso 1 bloco A1.....	65
Figura 25 – <i>Heatmap</i> do SNR no bloco A1 piso 1	66
Figura 26 - <i>Heatmap</i> do parâmetro <i>Network Issues</i> para o bloco A1 piso1.....	67
Figura 27 - Fluxograma de elaboração de um projeto no <i>EKahau</i>	70
Figura 28 – Definição da escala na planta.....	71
Figura 29 – Definição dos materiais na planta	72
Figura 30 – Caracterização da área da sala A1	72
Figura 31 - <i>Autoplaner</i> do <i>EKahau</i>	74
Figura 32 - <i>Layout</i> dos APs no piso 1 bloco A1 definido pelo auto-planner do <i>EKahau</i> 74	
Figura 33 – <i>Heatmap</i> do <i>Network Issues</i> no piso 1 bloco A1	75
Figura 34 – <i>Heatmap</i> do <i>Capacity Heath</i> no piso 1 bloco A1.....	76
Figura 35 - Sequencia de testes no <i>survey</i> “ <i>AP on a stick</i> ” nas salas do piso 1 Bloco B77	
Figura 36 - Diagrama de rede projetada para a Escola Básica e Secundária Gonçalves Zarco	85
Figura 37 - <i>Heatmap</i> relativo ao RSSI no piso 1 Bloco B.....	89
Figura 38 - <i>Heatmap</i> relativo ao <i>Throughput</i> no piso 1 Bloco B	90
Figura 39 - <i>Heatmap</i> relativo ao SNR no piso 1 Bloco B	91
Figura 40 - <i>Heatmap</i> relativo ao <i>Network Issues</i> no piso 1 Bloco B.....	92
Figura 41 - Disposição e descrição dos espaços no Bloco A piso 0.....	104

Figura 42 - Disposição e caracterização dos espaços no Bloco A2 piso 1	105
Figura 43 - Disposição e descrição dos espaços no Bloco B piso 0.....	106
Figura 44 - Disposição e descrição dos espaços no Bloco B piso 1	106
Figura 45 - Descrição e caracterização dos espaços no Bloco C piso 0	107
Figura 46 - Descrição e caracterização dos espaços no piso 1 do Bloco C.....	108
Figura 47 - Trajeto realizado no <i>survey</i> das salas do piso 1 bloco A2	112
Figura 48 - Trajeto <i>survey</i> realizado no piso 0 bloco A.....	112
Figura 49 - <i>Heatmap</i> do RSSI no piso 1 bloco A2	113
Figura 50 - <i>Heatmap</i> do <i>Data Rate</i> no piso 1 bloco A2	113
Figura 51 - <i>Heatmap</i> do <i>Throughput</i> no piso 1 bloco A2	114
Figura 52 - <i>Heatmap</i> do SNR no piso 1 bloco A2.....	114
Figura 53 - <i>Heatmap</i> do <i>Network Issues</i> no piso 1 bloco A2	115
Figura 54 - Trajeto realizado no <i>survey</i> ao piso 1 bloco B.....	116
Figura 55 - <i>Heatmap</i> do RSSI piso 1 bloco B.....	116
Figura 56 – <i>Heatmap</i> do <i>Data Rate</i> no piso 1 Bloco B	117
Figura 57 - <i>Heatmap</i> do <i>Throughput</i> no piso 1 bloco B	117
Figura 58 - <i>Heatmap</i> do SNR piso 1 bloco B.....	118
Figura 59 – <i>Heatmap</i> do <i>Network Issues</i> piso 1 bloco B	118
Figura 60 - Trajeto do <i>survey</i> no piso 0 bloco B	119
Figura 61 – <i>Heatmap</i> do RSSI piso 0 Bloco B.....	119
Figura 62 - <i>Heatmap</i> do <i>Data Rate</i> piso 0 bloco B	120
Figura 63 – <i>Heatmap</i> do <i>Throughput</i> piso 0 bloco B.....	120
Figura 64 - <i>Heatmap</i> do SNR piso 0 bloco B.....	121
Figura 65 - <i>Heatmap</i> do <i>Network Issues</i> piso 0 bloco B	121
Figura 66 - Trajeto realizado no <i>survey</i> ao piso 0 bloco C.....	122
Figura 67 – <i>Heatmap</i> do RSSI do piso 0 bloco C.....	122
Figura 68 - <i>Heatmap</i> do <i>Data Rate</i> no piso 0 do bloco C	123
Figura 69 - <i>Heatmap</i> do <i>Throughput</i> no piso 0 Bloco C	123
Figura 70 - <i>Heatmap</i> do SNR piso 0 bloco C.....	124
Figura 71 - <i>Heatmap</i> do <i>Network Issues</i> piso 0 Bloco C	124
Figura 72 - <i>Heatmap</i> relativo ao RSSI no piso 1 do bloco A1	125
Figura 73 - <i>Heatmap</i> relativo ao <i>Throughput</i> no piso 1 bloco A1	126
Figura 74 - <i>Heatmap</i> relativo ao SNR no bloco piso 1 bloco A1	127
Figura 75 - <i>Heatmap</i> relativo ao <i>Network Health</i> no piso 1 bloco A1.....	128
Figura 76 - <i>Heatmap</i> relativo ao parâmetro <i>Network Issues</i> no bloco piso 1 bloco A1	129
Figura 77 - <i>Heatmap</i> relativo ao parâmetro <i>Capacity Health</i> no piso 1 bloco A1.....	130
Figura 78 - <i>Heatmap</i> relativo ao RSSI no piso 1 bloco A2	131
Figura 79 - <i>Heatmap</i> relativo ao <i>Throughput</i> no piso 1 bloco A2	131
Figura 80 - <i>Heatmap</i> relativo ao SNR no piso 1 bloco A2.....	132
Figura 81 - <i>Heatmap</i> relativo ao parâmetro <i>Network Health</i> no piso 1 bloco A2.....	132
Figura 82 - <i>Heatmap</i> relativo ao parâmetro <i>Network Issues</i> no piso 1 bloco A2	133
Figura 83 - <i>Heatmap</i> relativo ao parâmetro <i>Capacity Health</i> no piso 1 bloco A2.....	133
Figura 84 - <i>Heatmap</i> relativo ao RSSI no piso 1 bloco B.....	134
Figura 85 - <i>Heatmap</i> relativo ao <i>Throughput</i> no piso 1 bloco B.....	134
Figura 86 - <i>Heatmap</i> relativo ao SNR no piso 1 bloco B.....	135
Figura 87 - <i>Heatmap</i> relativo ao <i>Network Health</i> no piso 1 bloco B	135
Figura 88 - <i>Heatmap</i> relativo ao <i>Network Issues</i> no piso 1 bloco B	136

Figura 89 - <i>Heatmap</i> relativo ao <i>Capacity Health</i> no piso 1 bloco B	136
Figura 90 - <i>Heatmap</i> relativo ao RSSI no piso 2 bloco B.....	137
Figura 91 - <i>Heatmap</i> relativo ao <i>Throughput</i> no piso 2 bloco B.....	137
Figura 92 - <i>Heatmap</i> relativo ao SNR no piso 2 bloco B.....	138
Figura 93 - <i>Heatmap</i> relativo ao <i>Network Health</i> no piso 2 bloco B	138
Figura 94 - <i>Heatmap</i> relativo ao <i>Network Issues</i> no piso 2 bloco B	139
Figura 95 - <i>Heatmap</i> relativo ao <i>Capacity Health</i> no bloco B piso 2	139
Figura 96 - <i>Heatmap</i> relativo ao RSSI no piso 0 bloco C.....	140
Figura 97 - <i>Heatmap</i> relativo ao <i>Throughput</i> no piso 0 bloco C.....	140
Figura 98 - <i>Heatmap</i> relativo ao SNR no piso 0 bloco C.....	141
Figura 99 - <i>Heatmap</i> relativo ao <i>Network Health</i> no piso 0 bloco C.....	141
Figura 100 - <i>Heatmap</i> relativo ao <i>Network Issues</i> no piso 0 Bloco C	142
Figura 101 - <i>Heatmap</i> relativo ao <i>Capacity Health</i> no piso 0 bloco C.....	142
Figura 102 - <i>Heatmap</i> do RSSI no piso 1 Bloco C.....	143
Figura 103 - <i>Heatmap</i> do <i>Throughput</i> no piso 1 bloco C.....	143
Figura 104 - <i>Heatmap</i> do SNR no piso 1 bloco C.....	144
Figura 105 - <i>Heatmap</i> do <i>Network Health</i> no piso 1 bloco C.....	144
Figura 106 - <i>Heatmap</i> do <i>Network Issues</i> no piso 1 bloco C.....	145
Figura 107 - <i>Heatmap</i> do <i>Capacity Health</i> piso 1 bloco C.....	145
Figura 108 - <i>Heatmap</i> relativo ao RSSI na cantina	146
Figura 109 - <i>Heatmap</i> relativo ao <i>Throughput</i> na cantina	146
Figura 110 - <i>Heatmap</i> relativo ao SNR na cantina	147
Figura 111 - <i>Heatmap</i> relativo ao <i>Network Health</i> na cantina.....	147
Figura 112 - <i>Heatmap</i> relativo ao <i>Network Issues</i> na cantina.....	148
Figura 113 - <i>Heatmap</i> relativo ao <i>Capacity Health</i> na cantina.....	148
Figura 114 – <i>Heatmap</i> do RSSI no Bar dos alunos.....	149
Figura 115 - <i>Heatmap</i> do <i>Throughput</i> no Bar dos alunos	149
Figura 116 - <i>Heatmap</i> do SNR no Bar dos alunos.....	150
Figura 117 - <i>Heatmap</i> do <i>Network Health</i> no Bar dos alunos.....	150
Figura 118 - <i>Heatmap</i> do <i>Network Issues</i> no Bar dos alunos.....	151
Figura 119 - <i>Heatmap</i> do <i>Capacity Health</i> no Bar dos alunos.....	151
Figura 120 - <i>Heatmap</i> relativo ao RSSI no piso 1 Bloco A	153
Figura 121 - <i>Heatmap</i> relativo ao Data Rate no piso 1 Bloco A	154
Figura 122 - <i>Heatmap</i> relativo ao <i>Throughput</i> no piso 1 Bloco A	155
Figura 123 - <i>Heatmap</i> relativo ao SNR no piso 1 Bloco A.....	156
Figura 124 - <i>Heatmap</i> relativo ao <i>Network Issues</i> no piso 1 Bloco A.....	157
Figura 125 - <i>Heatmap</i> relativo ao RSSI no piso 2 bloco B.....	158
Figura 126 - <i>Heatmap</i> relativo ao SNR no piso 2 Bloco B.....	158
Figura 127 - <i>Heatmap</i> relativo ao Data Rate no piso 2 Bloco B	159
Figura 128 - <i>Heatmap</i> relativo ao <i>Throughput</i> no piso 2 Bloco B	159
Figura 129 - <i>Heatmap</i> relativo ao <i>Network Issues</i> no piso 2 Bloco B	160
Figura 130 - <i>Heatmap</i> relativo ao RSSI no piso 0 do bloco C.....	160
Figura 131 - <i>Heatmap</i> do <i>Data Rate</i> no piso 0 do Bloco C	161
Figura 132 - <i>Heatmap</i> do <i>Throughput</i> no piso 0 do Bloco C	162
Figura 133 - <i>Heatmap</i> do SNR no piso 0 do Bloco C.....	163
Figura 134 - <i>Heatmap</i> do <i>Network Issues</i> no piso 0 do Bloco C	164
Figura 135 - <i>Heatmap</i> do RSSI na cantina	165

Figura 136 - <i>Heatmap</i> do <i>Data Rate</i> na cantina	166
Figura 137 - <i>Heatmap</i> do <i>Throughput</i> na cantina	167
Figura 138 - <i>Heatmap</i> do SNR na cantina	168
Figura 139 - <i>Heatmap</i> do <i>Network Issues</i> na cantina.....	169
Figura 140 – Traçados da cablagem e localização dos APs no piso 1 bloco A1	170
Figura 141 - Traçados da cablagem e localização dos APs no bloco A2	171
Figura 142 - Traçados da cablagem e localização dos APs no bloco B piso 0.....	171
Figura 143 - Traçados da cablagem e localização dos APs no bloco B piso 1	172
Figura 144 - Traçados da cablagem e localização dos APs no bloco C piso 0.....	173
Figura 145 - Traçados da cablagem e localização do AP na cantina.....	174
Figura 146 - RSSI recebido na sala A1 (sala sem AP).....	184
Figura 147 - RSSI recebido na sala A2 com AP (sala com AP).....	184
Figura 148 – <i>Heatmap</i> do RSSI no cenário de teste da sala A1 sem AP.....	185
Figura 149 – <i>Heatmap</i> do <i>Throughput</i> no cenário de teste da sala A1 sem AP	185
Figura 150 – <i>Heatmap</i> do SNR no cenário de teste da sala A1 sem AP	186
Figura 151 – <i>Heatmap</i> do <i>Network Issues</i> no cenário de teste da sala A1 sem AP	186
Figura 152 – Acesso à controladora pelo <i>browser</i>	187
Figura 153 – Definição do <i>MAC Authentication</i>	187
Figura 154 – Especificação dos utilizadores pertencentes à <i>White List</i>	188
Figura 155 – Diminuição da potência de transmissão e configuração do <i>Band Steering</i>	188

Índice de tabelas

Tabela 1 - Resumo das principais características das normas do padrão IEEE 802.11	11
Tabela 2 – Análise comparativa entre as propriedades qualitativas nas várias normas do padrão IEEE 802.11	12
Tabela 3 - Requisitos de largura de banda por aplicação num ambiente de ensino [23]	20
Tabela 4 – Ferramentas comuns para realizar <i>Surveys</i> [11].....	24
Tabela 5 - Descrição do número de alunos e de turmas por ano de ensino no ano letivo 2020/21 na Escola Básica e Secundária Gonçalves Zarco	36
Tabela 6 - Dispositivos utilizados na rede Wi-Fi	37
Tabela 7 - Largura de banda típica necessária por tipo de aplicação no Projeto dos Manuais Digitais [23].....	39
Tabela 8 - Distribuição dos APs por piso(bloco)	40
Tabela 9 - Resumo das fases e tarefas envolvidas na análise, planeamento e implementação das redes para o Projeto dos Manuais Digitais.....	48
Tabela 10 – Salas e espaços comuns utilizados no Projeto dos Manuais Digitais.....	62
Tabela 11 - Registo inicial de parâmetros relativos à rede cablada.....	68
Tabela 12 - Dimensionamento do débito LAN (Bloco A)	79
Tabela 13 - Dimensionamento do débito de ligação à internet	80
Tabela 14 - Definição dos componentes a instalar na rede	84
Tabela 15 - Orçamento do equipamento e serviços para Escola Básica e Secundária Gonçalves Zarco	86
Tabela 16 - Plano e cronograma dos trabalhos a realizar	87
Tabela 17 – Registo final de parâmetros relativos à rede cablada.....	93
Tabela 18 - Definição das áreas no bloco A.....	109
Tabela 19 - Definição das áreas no bloco B.....	110
Tabela 20 - Definição das áreas no bloco C.....	111
Tabela 21 - Dimensionamento do débito LAN (Bloco B).....	152
Tabela 22 - Dimensionamento do débito LAN (Bloco C).....	152
Tabela 23 - Orçamento do equipamento ativo/passivo e serviços.....	175

Lista de acrónimos

AP	Access Point
AR	Augmented Reality
API	Application Programming Interface
BSS	Basic Service Set
BSA	Basic Service Area
BSSID	Basic Service Set Identifier
CA	Collision Avoidance
CCI	Common Channel Interference
CMU-MIMO	Coordinated Multi User MIMO
COVID	Corona Virus Disease
CSMA	Carrier Sense Multiple Access
CTS	Clear To Send
DDoS	Distributed Denial of Service
DRE	Direção Regional de Educação
DRS	Dynamic Rate Switching
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum
EIRP	Effective Isotropic Radiated Power
ESS	Extended Service Set
EU	Europe Union
FHSS	Frequency Hoping Spread Spectrum
FTTH	Fiber To The Home
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IoT	Internet Of Things
ISM	Industrial Scientific and Medical radio bands
IT	Information Technology
LAN	Local Area Network
MCS	Modulation and Coding Scheme
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MU-MIMO	Multi User Multiple Input Multiple Output
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access

QAM	Q uadrature A mplitude M odulation
QoS	Q uality O f S ervice
QoE	Q uality O f E xperience
RSSI	R eceived S ignal S trength I ndication
RAM	R egião A utónoma da M adeira
RF	R adio F requency
RTS	R equest T o S end
SISO	S ingle I nput S ingle O utput
SLA	S ervice L evel A greement
SRE	S ecretaria R egional da E ducação
SNR	S ignal- N oise R atio
SSID	S ervice S et I dentifier
TWT	T arget W ake T ime
UMa	U niversidade da M adeira
UTP	U nshielded T wisted P air
VR	V irtual R eality
WLAN	W ireless L ocal A rea N etwork
WLC	W ireless L AN C ontroller

1 Introdução

O mundo está a digitalizar-se, segundo o *Cisco Annual Internet Report*¹, em 2023 teremos 5.300 milhões de utilizadores de internet, cerca de 66% da população mundial e 29.300 milhões de dispositivos estarão conectados [1]. O acesso à internet começa a ser considerado como um bem essencial, atualmente é impensável não termos internet em todo o lugar. As redes Wi-Fi vieram facilitar que isso fosse possível com a capacidade de criar redes de área local sem fios de forma económica onde o cabeamento não é viável.

As redes Wi-Fi ganham cada vez mais relevância na sociedade atual e a sua procura é progressivamente maior, visto que, o acesso à internet por dispositivos móveis como *smartphones* e *tablets* tem se tornado a forma mais simples de pesquisa na *web*. De acordo com o estudo anual de tecnologia de envolvimento com o cliente da *Hospitality Technology* de 2019 [2], o Wi-Fi é a tecnologia que mais influencia os clientes em decisões de reservas de hotéis e restaurantes. A maioria dos hóspedes de hotéis (84%) e clientes de restaurantes (56%) afirmam que o acesso a uma rede Wi-Fi gratuita influencia as suas decisões aquando do realizar de reservas [2]. Outra razão para o sucesso da tecnologia Wi-Fi tem sido o crescimento exponencial de dispositivos onde este pode ser instalado nomeadamente os eletrodomésticos, televisões, consolas de videojogos e uma série de dispositivos *wearables* como os relógios, óculos e roupas inteligentes. O progresso da *Internet of Things* (IoT) também está diretamente relacionado com o baixo custo, alto desempenho e confiabilidade dos produtos Wi-Fi [3].

Com a necessidade crescente do acesso à internet na era do distanciamento social, o confinamento provocado pela *Corona Virus Disease 2019* (COVID-19) realçou a exclusão digital principalmente para as classes sociais com carência económica. Na cidade de Sacramento (Califórnia), foram promovidos uma série de projetos *ad hoc* em que eram disponibilizados pontos de acesso Wi-Fi públicos para possibilitar um serviço de internet e manter os membros das suas comunidades conectados [4]. Com isso conseguiu-se garantir, de forma acessível a toda a sociedade, o ensino à distância, o teletrabalho, as reuniões por videoconferência, entre outras tarefas essenciais que faziam parte da nossa rotina diária sem colocar em risco a saúde pública. São situações pontuais como esta que nos fazem refletir na importância de uma rede sem-fios que garante acesso à internet a vários equipamentos de uma forma mais económica e cómoda.

O recolhimento obrigatório para travar a propagação da pandemia provocada pela COVID-19 pode ser encarado como um constrangimento temporário que impede as aulas convencionais, mas também pode ser visto como uma oportunidade única para ensaiar novas formas de aprendizagem e de reforçar as competências digitais [5]. Na Estónia, com a utilização de tecnologias de inteligência artificial e de realidade aumentada, testase a imersão dos alunos nas aulas virtuais e projetam-se experiências de ensino à distância em que são criados ambientes virtuais mais reais que transmitem ao utilizador experiências idênticas ao cenário em sala de aula [5].

¹ Cisco Annual Internet Report - <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/executive-perspectives/annual-internet-report/white-paper-c11-741490.html>

No ensino é cada vez mais comum adotar-se soluções digitais de forma a agilizar os serviços que os alunos utilizam diariamente. A utilização combinada do Wi-Fi com sensores e atuadores permite criar ambientes de ensino que facilitam a utilização dos serviços escolares, permitindo, por exemplo, saber o estado da fila de espera na cantina, os lugares disponíveis no parque de estacionamento, o nível de ruído e lotação das salas de estudo. Na *Arizona State University*, as equipas de TI instalaram 11.000 pontos de acesso (sigla do inglês *Access Points*, APs) para projetar uma rede Wi-Fi corporativa que pudesse lidar com cerca de 50.000 acessos diários [6]. Um dos projetos mais notáveis desta universidade foi no *Sun Devil Stadium*, um campus universitário em que foram instalados APs com sensores para monitorizar o clima, a humidade, o nível de ruído e a temperatura dentro do recinto [6].

A necessidade do Wi-Fi nos espaços educacionais tornou-se num recurso crítico para facilitar a utilização dos serviços escolares e garantir o acesso dos equipamentos aos conteúdos digitais. Neste sentido, as instituições de ensino necessitam de um esforço adicional nas suas infraestruturas de rede para atender as necessidades do Wi-Fi nos ambientes de aprendizagem atuais. É essencial planejar um ambiente que garanta os requisitos de cobertura e de capacidade em todas as áreas de utilização. Os ambientes de aprendizagem são dinâmicos e requerem uma capacidade constante de adaptação a novas realidades, todos os anos letivos surgem novos utilizadores, equipamentos e adicionam-se recursos à sua pedagogia. Esta constante atualização representa um aumento nos acessos simultâneos e nos requisitos aplicativos. Como tal é essencial a existência de redes resilientes que suportem adequadamente as exigências a nível de ligação à rede, bem como dos requisitos das aplicações.

O propósito da utilização da internet tem vindo a mudar e essa mudança tende a ser conduzida para o ensino. Inicialmente a internet era apenas utilizada para atividades comuns como a navegação na web, emails e vídeos assíncronos de baixa resolução. Mais recentemente tem sido utilizada para vídeos síncronos de alta-definição, jogos online, armazenamento em *cloud*, dispositivos *Internet of things* (IoT), *Augmented Reality* (AR) e *Virtual Reality* (VR). Esta mudança no paradigma de utilização da internet alinhado com o aumento da diversidade de dispositivos móveis, do número de utilizadores e de acessos simultâneos exige uma atualização constante da tecnologia Wi-Fi de forma a atender as necessidades dos utilizadores e das aplicações ao longo dos anos.

1.1 Motivação

Em 2019, na Região Autónoma da Madeira (RAM) surgiu uma iniciativa de cariz tecnológico designada Projeto Manuais Digitais² na qual os alunos fazem uso dos manuais escolares e de uma plataforma de ensino-aprendizagem em *tablets*. Este projeto foi inicialmente direcionado aos alunos de 5º ano de 25 escolas públicas da RAM, dos quais faziam parte 2187 alunos e 112 turmas. No presente ano letivo 2020/21 vai inserir todas as turmas de 6º ano bem como 18 turmas de 7º ano, contando com 26 escolas, 4658 alunos e 244 turmas.

O cenário neste projeto é dinâmico, todos os anos incluem-se novos utilizadores, dispositivos e aplicações que representam um aumento nos acessos simultâneos e nos requisitos aplicativos. Deste modo é crucial a existência de redes resilientes que

² Projeto Manuais Digitais - <https://www.escolavirtual.pt/Pagina-Especial/madeira.htm>

satisfaçam os requisitos de cobertura e capacidade. É essencial assegurar as exigências de acesso à rede, dos requisitos das aplicações bem como especial atenção nos aspetos de gestão, manutenção, segurança e desempenho. O bom funcionamento deste projeto está dependente de redes de comunicação que garantam uma boa qualidade de serviço no acesso dos equipamentos aos conteúdos pedagógicos e a outros recursos didáticos de carácter digital.

Dada a necessidade destas redes terem que suportar atualmente os alunos de 5º e 6º ano, além de 18 turmas de 7º ano, e tendo em conta que o Projeto dos Manuais Digitais tem o objetivo de escalar até ao 12º ano, a Direção Regional de Educação (DRE) e a Universidade da Madeira (UMa) encetaram alguns contatos preliminares de maneira a encontrar iniciativas que permitissem acompanhar a implementação do referido projeto. Considerando as características físicas das escolas da RAM e dos seus recursos humanos, é essencial criar uma metodologia de planeamento suficientemente flexível para que possa ser adaptada à realidade das escolas e consiga auxiliá-las num planeamento adequado destas redes. Como tal, neste projeto de mestrado pretende-se desenvolver um processo preciso, claro e completo com foco na avaliação das capacidades necessárias ao suporte dos utilizadores, das aplicações e nas questões de gestão, manutenção, segurança e desempenho. Dado que o Projeto dos Manuais Digitais tem a particularidade da maior parte dos seus utilizadores fazerem uso de equipamentos móveis, o processo deverá ter especial atenção para a rede de área local sem fios.

1.2 *Objetivos*

A necessidade crescente de acesso à internet sem fios para aceder a conteúdos pedagógicos combinada com um maior número de utilizadores, de dispositivos móveis e de aplicações que requerem altas taxas de dados e baixa latência exige uma atualização das redes que suportam o Projeto dos Manuais Digitais com o intuito de proporcionar aos utilizadores uma rede com qualidade de serviço e qualidade de utilização que satisfaça as suas necessidades. Como tal, para este projeto estão definidos os seguintes objetivos:

- Estudo do padrão IEEE 802.11 em que se baseia o Wi-Fi;
- Aprofundamento de projetos relacionados com digitalização do ensino a nível nacional e internacional;
- Definição de um processo para a análise, planeamento e implementação das redes que vão suportar o Projeto dos Manuais Digitais com foco na rede de área local sem fios;
- Desenvolvimento de um caso de estudo.

1.3 *Estrutura do documento*

Como forma de orientar a leitura do referido documento, seguidamente é apresentado um breve resumo da abordagem que é feita em cada capítulo.

Capítulo 1: Introdução - Este primeiro capítulo tem como objetivo introduzir o tema da digitalização do ensino. É abordada a importância das redes Wi-Fi, a sua aplicabilidade em vários contextos e explicada de que forma a mudança no paradigma de utilização da internet exige a evolução da tecnologia Wi-Fi. São também apresentadas as motivações e os objetivos na realização deste trabalho.

Capítulo 2: Estado da arte - Com este capítulo pretende-se o estudo teórico do padrão IEEE 802.11 em que se baseia o Wi-Fi nomeadamente a sua evolução, funcionamento, cobertura, capacidade e débito. São também abordadas as variáveis que estão diretamente relacionadas com o planeamento de uma WLAN por cobertura e capacidade. A segunda vertente deste capítulo pretende identificar de que forma as redes de comunicação de dados estão relacionadas com os projetos de digitalização do ensino bem como a sua influência na aprendizagem através da pesquisa de projetos relacionados com a digitalização do ensino a nível nacional e internacional.

Capítulo 3: Caraterização do problema - Neste capítulo, utilizando como modelo a Escola Básica e Secundária Gonçalves Zarco, é descrito o Projeto dos Manuais Digitais em torno do qual o problema se caracteriza. É caracterizada a infraestrutura física da escola, os utilizadores e aplicações bem como as suas infraestruturas de rede. Com esta caracterização definimos os requisitos que serão fundamentais no planeamento da rede e identificamos as condicionantes do projeto. Por fim é feita uma análise aos problemas que impactam atualmente a integração de um projeto desta natureza nesta escola, são caracterizadas as necessidades e é realizada uma comparação dos mesmos com as restantes escolas da RAM.

Capítulo 4: Processo de análise, planeamento e implementação - Este capítulo tem como objetivo a descrição completa do processo de análise, planeamento e implementação das redes para o Projeto dos Manuais Digitais com foco na rede de área local sem fios. São descritos os recursos necessários para realizar cada fase, as tarefas e ações associadas bem como os resultados pretendidos no final de cada fase. É também realizada uma análise comparativa do processo criado com a metodologia de planeamento e projeto de redes apresentada por Edmundo Monteiro e Fernando Boa Vida no livro Engenharia de Redes Informáticas [7].

Capítulo 5: Caso de estudo - Neste capítulo é demonstrada a aplicação prática do processo de análise, planeamento e implementação descrito no capítulo anterior, utilizando como modelo a Escola Básica e Secundária Gonçalves Zarco. São mencionados os recursos que foram utilizados para realizar cada uma das fases definidas no processo, as tarefas realizadas, os resultados obtidos e a sua respetiva análise. Por fim, apresenta-se as limitações na aplicação do processo nesta escola e uma reflexão da sua relevância no planeamento destas redes.

Capítulo 6: Conclusões e trabalhos futuros - Como forma conclusiva, neste capítulo é feita uma retrospectiva de todo o trabalho realizado. Explica-se a importância do processo criado e de que forma este auxilia as escolas no planeamento das redes para o Projeto dos Manuais Digitais. É também efetuada uma análise das principais limitações do processo e o que poderá ser feito em termos de trabalhos futuros. No final são efetuadas algumas considerações sobre a relevância do trabalho realizado e do conhecimento adquirido.

2 Estado da Arte

Este capítulo está dividido essencialmente em 3 secções. Na secção 2.1 é abordado o padrão IEEE 802.11 em que se baseia o Wi-Fi e a sua evolução ao longo dos anos. Na secção 2.2 são apresentados tópicos fundamentais que influenciam o planeamento de uma rede de área local sem fios (sigla do inglês *Wireless Local Area Network*, WLAN) nomeadamente em termos de cobertura e de capacidade. Na secção 2.3 são explorados alguns projetos relacionados com a digitalização do ensino a nível nacional e internacional bem como a influência das redes de comunicação para projetos desta natureza.

2.1 Estudo e evolução do Padrão IEEE 802.11

Neste primeiro subcapítulo é feito um estudo teórico do padrão IEEE 802.11 nomeadamente a sua evolução, funcionamento, cobertura, capacidade e débito. Esta secção inicial será crucial para entender os conceitos basilares do padrão de forma que possa ser feito um bom planeamento de uma WLAN.

Para permitir que diferentes dispositivos desenvolvidos por fabricantes distintos que incorporam a tecnologia sem fios se comuniquem, é necessário um padrão comum. O Wi-Fi é uma tecnologia de rede de área local sem fios baseada no padrão IEEE 802.11 [8]. O padrão IEEE 802.11, mais comumente conhecido como Wi-Fi, é uma tecnologia que fornece comunicações de rede de área local (sigla do inglês *Local Area Network*, LAN) usando sinais de rádio frequência (sigla do inglês *Radio Frequency*, RF).

As tecnologias de rádio de espectro espalhado frequentemente utilizadas nas WLANs de hoje foram originalmente patenteadas durante a segunda guerra mundial, embora só tenham sido implementadas duas décadas depois. A primeira utilização desta tecnologia deu-se durante a segunda guerra mundial nos EUA com objetivo de transmitir dados por meio de RF usando criptografia de forma a enviar planos de batalha através das linhas inimigas [9].

Ao longo dos anos, diferentes versões deste padrão foram desenvolvidas para acompanhar os requisitos crescentes dos utilizadores e das aplicações, nomeadamente de velocidades mais altas, menor latência, maior alcance, responder a um maior e mais variado tipo de dispositivos, melhor performance em ambiente densamente cobertos, nível de segurança mais elevado, mobilidade mais eficiente assim como as necessidades de garantir qualidade de serviço (sigla do inglês *Quality Of Service*, QoS) e qualidade de experiência para o utilizador (sigla do inglês *Quality Of Experience*, QoE).

O Wi-Fi começou por ser utilizado para a navegação na web, envio e receção de emails, música, visualização de redes sociais e vídeos de baixa resolução. Mais recentemente, com a alavancagem da idade do consumo de vídeo, tem sido utilizado para vídeos síncronos de alta resolução, jogos online, armazenamento em *cloud*, dispositivos IoT, AR e VR. O gráfico da Figura 1 esboça, em termos de *data rate* máximo teórico e de aplicabilidades, a evolução do padrão IEEE 802.11 ao longo dos anos.

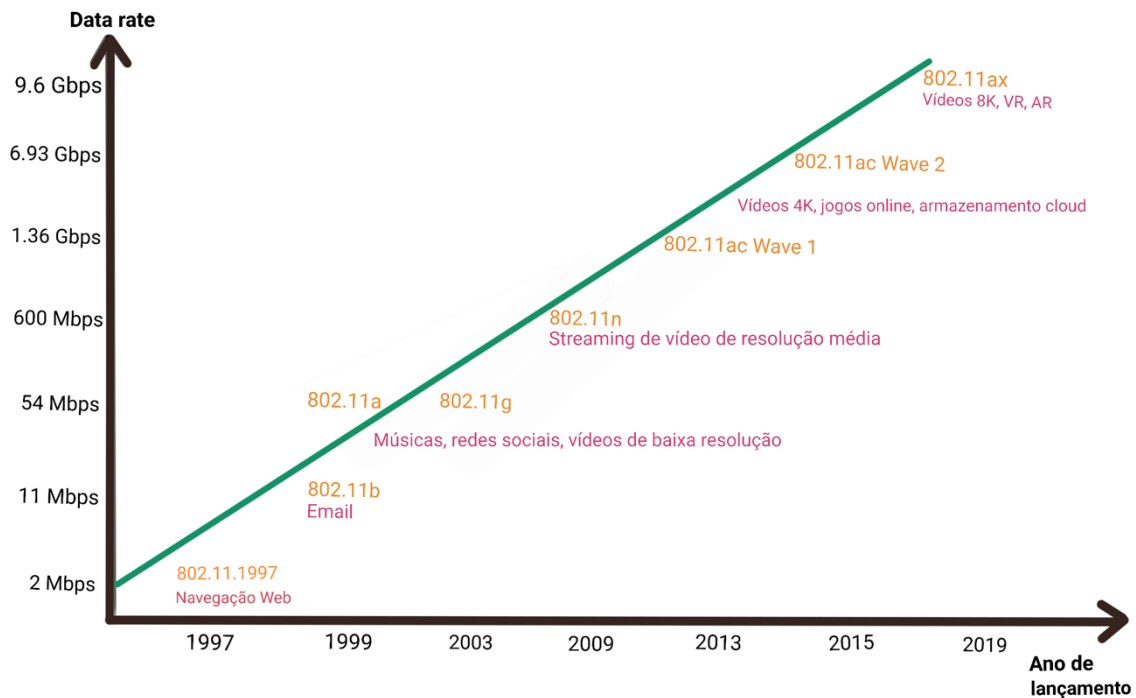


Figura 1 - Evolução do padrão IEEE 802.11

O Instituto de Engenheiros Elétricos e Eletrônicos (IEEE) começou a discutir a padronização das tecnologias WLAN em 1991. Em 1997, ratificou o padrão IEEE 802.11 original que é a base da tecnologia Wi-Fi. A primeira versão deste padrão foi aprovada num comité em junho de 1997 e foi designada **802.11.1997**. Esta norma garantia um *data rate* de 2Mbps e operava na banda dos 2.4GHz, estava compreendida entre o intervalo dos 2.4GHz aos 2.4835GHz, que faz parte das bandas livres industriais, científicas e médicas (sigla do inglês *Industrial, Scientific and Medical*, ISM). O facto de operar numa banda livre tem algumas vantagens e desvantagens. A grande mais valia é o facto de não precisar de qualquer licença para a utilizar, o que faz com que qualquer dispositivo possa operar com facilidade nesta banda. No entanto como qualquer dispositivo pode operar nestas frequências, inclusive dispositivos não 802.11, a possibilidade de interferência nesta banda será maior. Esta norma utilizava 2 tipos de transmissão, o *Direct Sequence Spread Spectrum* (DSSS) e o *Frequency Hopping Spread Spectrum* (FHSS). De grosso modo, o DSSS cria vários segmentos de informação e envia-os simultaneamente utilizando vários canais dentro de uma frequência. Já o FHSS utiliza “salto de frequência”, envia parte da informação numa frequência e a restante informação numa outra frequência. Esta técnica não garante taxas de dados tão altas, mas permite uma maior imunidade às interferências dado que a frequência utilizada muda constantemente. O DSSS acaba por ser mais rápido, mas tem maior probabilidade de sofrer interferência uma vez que faz uso de vários canais ao mesmo tempo [10].

A norma **802.11a** foi a primeira versão do padrão IEEE 802.11 a operar na banda dos 5GHz. Esta foi lançada no mercado em setembro de 1999 e utilizava a técnica de transmissão *Orthogonal Frequency-Division Multiplexing* (OFDM) em que a informação transmitida é dividida em pequenos conjuntos de dados que são transmitidos simultaneamente em diferentes frequências. Esta norma permitia atingir um *data rate* de 54Mbps, no entanto o *throughput* era cerca de metade deste valor. Embora a norma 802.11a tenha sido utilizada, não foi tão amplamente requisitada quanto a norma 802.11b que foi lançada no mesmo ano. A banda de 5GHz é muito mais ampla, permite maior

débito e acomoda mais canais sem sobreposição comparativamente a banda dos 2.4Ghz, no entanto o seu alcance é menor e tem maior dificuldade em atravessar os objetos no ambiente, dado que opera numa frequência mais elevada [11]. Além disso, naquela época a tecnologia era menos atrativa a nível monetário, nem todos os dispositivos a suportavam e isso reduzia consideravelmente o seu uso.

A norma **802.11b** surgiu no mesmo mês que a sua antecessora e foi amplamente utilizada. Esta permitia taxas de dados superiores às suportadas pela norma 802.11.1997 na banda de 2.4Ghz. Embora o *data rate* desta norma fosse muito inferior quando comparado à norma 802.11a, nomeadamente na ordem dos 11Mbps, o padrão usava a banda ISM de 2.4GHz e a tecnologia utilizada para isso na época era muito mais económica [12]. Além disso, o uso de tecnologias rádio era muito menor e a interferência não era o problema que seria atualmente em que a banda dos 2.4Ghz encontra-se lotada. Este padrão utilizava a técnica de transmissão DSSS com o sistema *Single Input Single Output* (SISO) no qual os dispositivos sem fio usavam apenas um transmissor e um recetor para comunicação. Para transmitir dados, a norma 802.11b fazia uso da técnica *Carrier-Sense Multiple Access with Collision Avoidance* (CSMA/CA) em que, quando um transmissor deseja fazer uma transmissão, ele escuta um canal limpo e, em seguida, transmite. A ampla adoção deste padrão foi o ponto de partida para o sucesso desta tecnologia e fez com que o Wi-Fi se tornasse um elemento aceite no campo das redes sem fio.

Em junho de 2003 foi apresentada a norma **802.11g** que garantia um Wi-Fi mais rápido na banda de 2.4GHz. Esta utilizava a técnica de transmissão OFDM e proporcionava um *data rate* de 54Mbps. Anteriormente estas taxas de dados só eram possíveis usando a norma 802.11a na banda ISM de 5GHz. O menor custo das placas de rede sem fios que usam 2.4GHz combinados com a velocidade mais alta fez com que por muitos anos esta norma se tornasse no padrão mais utilizado. Embora a norma 802.11g oferecesse uma melhor performance que a 802.11b não devia ser forçosamente utilizada em qualquer situação. É importante ter em consideração que num ambiente de uma rede sem fios podem existir dispositivos que operam somente na norma 802.11b e deste modo usam técnicas de transmissão diferentes nomeadamente o OFDM na norma 802.11g e o DSSS na 802.11b, que impossibilita a comunicação entre estes dispositivos dado que não conseguem entender os sinais RF um do outro. No entanto os dispositivos 802.11g podem fazer *downgrade* e entender mensagens 802.11b, embora o contrário já não se verifique. Quando dois dispositivos 802.11g comunicam-se entre si com o OFDM, os dispositivos 802.11b não conseguem entender nenhuma das transmissões, o que pode levar a interrupções por parte destes. Para permitir que os dispositivos OFDM e DSSS coexistam numa WLAN, a norma 802.11g oferece um mecanismo de proteção que consiste em entender cada transmissão 802.11g OFDM com sinalizadores DSSS que os dispositivos 802.11b possam entender [10]. Quando um dispositivo 802.11g está pronto para transmitir dados no modo de proteção, este envia primeiro uma mensagem *Request to Send* (RTS) e *Clear to Send* (CTS) usando DSSS e uma baixa taxa de dados que informa todos os dispositivos 802.11b que uma transmissão OFDM irá ocorrer. Qualquer dispositivo 802.11b que esteja a ouvir deve esperar um tempo predefinido até que a transmissão seja concluída porque a transmissão OFDM é ininteligível.

À medida que as velocidades das comunicações *ethernet* evoluíram, foram introduzidas alterações no padrão IEEE 802.11 para tentar acompanhar a demanda por velocidades mais rápidas. Em outubro de 2009 num esforço com o sentido de aumentar o desempenho das WLAN para um máximo teórico de 600Mbps, surge a norma **802.11n**. Esta foi

projetada para ser compatível com o OFDM utilizado nas versões anteriores das normas 802.11g e 802.11a. Antes da norma 802.11n, os dispositivos sem fio usavam um único transmissor e um único recetor, resultando numa única cadeia de rádio (sistema SISO). O maior desempenho da norma 802.11n está diretamente relacionado com o uso de vários componentes de rádio, formando várias cadeias de rádio bem como a agregação de canais 20MHz proporcionando assim a duplicação das taxas de transmissão. Um dispositivo 802.11n pode ter várias antenas, vários transmissores e vários recetores (sistema MIMO) [13]. Além disso fornece melhorias de segurança em relação aos padrões anteriores. A partir desta versão do Wi-Fi e para facilitar a sua designação, a *Wi-Fi Alliance*³ rotulou a tecnologia para esta norma como Wi-Fi 4. As normas 802.11n, 802.11ac e 802.11ax são agora representadas nos dispositivos como Wi-Fi 4, Wi-Fi 5 e Wi-Fi 6, respetivamente. A Figura 2 ilustra essa representação.



Figura 2 - Rótulos das normas 802.11n, 802.11ac e 802.11ax

O lançamento da norma **802.11ac** (Wi-Fi 5) em dezembro de 2013 foi um evento que marcou as WLAN dado o seu aumento exponencial de desempenho. O objetivo é equiparar a tecnologia sem fio à *Gigabit Ethernet* através de um conjunto de recursos conhecidos como *Very High Throughput* (VHT). Quando a norma 802.11ac foi lançada pela primeira vez, nem todos os recursos finais puderam ser incluídos nos primeiros equipamentos. Muitos dispositivos foram desenvolvidos para atender aos princípios básicos da especificação preliminar antes do seu lançamento final. Para resolver isso e obter clareza no mercado, a *Wi-Fi Alliance* separou o lançamento desta norma em duas fases: 802.11ac *wave 1* e 802.11ac *wave 2*. A primeira geração da norma 802.11ac oferece a possibilidade de uso de canais de 80MHz e conseguia operar até 3 fluxos de transmissão (3 canais de transmissão independentes). Utilizava a modulação de 256 *Quadrature Amplitude Modulation* (QAM) que levava a uma maior codificação de bits permitindo aumentar significativamente a performance desta norma. Desta forma a taxa de dados por antena era de 433Mbps. Com o sistema MIMO a utilizar o máximo de antenas e canais de 80Mhz é possível atingir velocidades na ordem dos 1.3Gbps. Em 2015 surge a segunda versão desta norma, 802.11ac *wave 2*. Esta permite ter canais com uma largura de 160MHz e utilizar até oito fluxos espaciais. É possível obter taxas de transmissão de 866,7Mbps por antena. Considerando 8 fluxos espaciais e canais de 160Mhz, é viável atingir velocidades de transmissão de 6.93Gbps. Além disso foi introduzido a técnica designada de *Multi-User MIMO* (MU-MIMO). Com esta técnica é possível o envio e receção de informação simultânea do AP para várias estações e vice-versa, isto é, enviar diferentes blocos de informação para diferentes utilizadores ao mesmo tempo e na mesma gama [14].

A norma **802.11ax** (Wi-Fi 6) é a versão mais recente do padrão IEEE 802.11. Foi lançada em setembro 2019 com o objetivo de aumentar a eficiência espectral e a usabilidade geral numa comunicação sem fios. Esta norma veio garantir uma ligação estável em ambientes com densa utilização bem como nos cenários em que são utilizadas aplicações com

³ Wi-Fi Alliance - <https://www.wi-fi.org/who-we-are>

elevada largura de banda [15]. O Wi-Fi 6 pretende não apenas aumentar o *data rate*, com a garantia de um novo máximo de 9.6Gbps, mas também tornar as comunicações Wi-Fi mais eficientes. Embora a evolução do padrão IEEE 802.11 até esta norma tenha proporcionado a possibilidade de utilização de canais maiores que suportam uma largura de banda superior, o AP reserva todo o canal a esse dispositivo, o que faz com que nenhum outro o possa utilizar durante esse período de tempo. A técnica de transmissão OFDM permitiu dividir o canal em subcanais para evitar interferência entre os vários pacotes de dados, mas continuamos a entregar todos esses subcanais a um único dispositivo. O Wi-Fi 6, com a introdução do *Orthogonal Frequency-Division Multiple Access* (OFDMA), vem mostrar grandes melhorias na transmissão entre dispositivos Wi-Fi. Agora o AP consegue comunicar com vários dispositivos de uma vez, calcula quanta largura de banda cada dispositivo necessita para a tarefa solicitada, qual a quantidade de canal que precisa e reserva partes do canal denominadas de *Resource Units* (RUs). A técnica de transmissão OFDMA permite que o AP tenha controlo sob o tráfego de *downlink* e *uplink*, o que garante que não exista competição indesejada entre os dispositivos e os APs bem como reduz a sobrecarga e a latência na rede. A modulação 1024 *Quadrature Amplitude Modulation* (1024-QAM) mais densa utilizada nesta norma permitiu aumentar a velocidade em cerca de 35%, codificando mais dados na mesma quantidade de espectro [16]. O uso de até 8 *streams* espaciais e o sistema MU-MIMO herdado da versão anterior garante que os APs comuniquem simultaneamente e com mais eficiência com vários clientes de uma vez. Além disso a propriedade do *Beamforming* permite atingir taxas de dados mais altas. Ao direcionar a comunicação para um dispositivo são garantidas taxas de dados mais elevadas num determinado intervalo, o que possibilita aumentar a capacidade da rede.

Num futuro onde o IoT é promissor vamos ter empresas com cada vez mais dispositivos deste tipo, o que representa um desafio significativo: como conectar de forma segura e fácil centenas ou milhares de dispositivos eletrónicos à rede de *Information Technology* (IT) corporativa, de acordo com suas necessidades operacionais e de engenharia [16]. Estes dispositivos na maioria das vezes não precisam de muita largura de banda, por exemplo, enviar a medida de um sensor de x em x horas, indicar que está operacional, entre outras tarefas relativamente simples que requerem baixa largura de banda. Com o OFDMA conseguimos atribuir uma pequena parte de um subcanal e enviar os dados de uma só vez numa oportunidade de transmissão aos vários dispositivos da rede. Outro recurso introduzido nesta versão do padrão é o *target wake time* (TWT) que permite economizar bateria dos dispositivos. Os rádios Wi-Fi estão ligados e a funcionar constantemente o que faz desperdiçar a vida útil da bateria do dispositivo. Com o TWT o AP e o dispositivo podem agendar quando o dispositivo precisa acordar e enviar dados. Este recurso é extremamente útil para dispositivos IoT que por norma não necessitam estar em constante associação com o AP. Embora a vida da bateria para um dispositivo IoT não seja um problema, quando falamos em ambientes corporativos como hospitais, fábricas e escolas, repletos destes dispositivos, se conseguirmos automatizar os rádios Wi-Fi para se desligarem quando não são necessários, isto repercutir-se-á numa grande poupança de bateria. A possibilidade de economizar bateria aplica-se também nos *smartphones* e outros dispositivos, sem ter que melhorar a tecnologia das suas baterias. Além disso, outra característica vantajosa desta norma para os dispositivos IoT é a utilização do espectro de 2.4Ghz que é crucial para estes dispositivos, além de garantir um maior alcance permite que sejam produzidos dispositivos mais económicos com radio Wi-Fi inferior que apenas suporta 2.4Ghz.

Um dos principais problemas que a norma 802.11ax visa resolver é o da interferência mútua em ambientes com muitos pontos de acesso. Em algumas áreas densamente cobertas, isso está diminuindo significativamente a velocidade das redes Wi-Fi. O Wi-Fi 6 introduz o recurso *BSS coloring* que faz com que os APs 802.11ax ignorem qualquer tipo de comunicação que venha de outro canal. Os sinais com a mesma cor BSS usam baixo limite RSSI o que reduz as colisões no mesmo BSS. Basicamente atribuímos à rede uma cor e qualquer rede à nossa volta que seja de outra cor será ignorada, este recurso vai ajudar a lidar com o *Common Channel Interference* (CCI). Resolver estas dificuldades que as versões anteriores do padrão enfrentam, em vez de se limitar a fornecer taxas de dados mais rápidas terá um efeito efetivo melhor e com isso conseguimos atingir throughputs maiores [16].

Dentro de relativamente pouco tempo vamos ter a segunda versão desta norma, o **Wi-Fi 6E** a operar na gama dos 6GHz. As redes locais sem fio estão prestes a obter um considerável aumento de desempenho. No entanto é necessário um investimento adicional por parte dos utilizadores porque necessitam de *hardware* compatível. O Wi-Fi 6E pode utilizar até 14 canais adicionais de 80MHz ou 7 canais de 160MHz em 6 GHz. Com um espectro maior, a utilização de canais mais amplos e a menor interferência fazem com que os dispositivos que operem na norma 802.116E consigam obter velocidades mais altas, latências extremamente baixas e alta capacidade [17]. Os dispositivos que operarem com o Wi-Fi 6E vão garantir uma melhor performance para aplicações de *E-learning*, telepresença e saúde que utilizam VR e AR. Além disso vão suportar adequadamente a crescente utilização de aplicações e serviços baseados em localização [17].

O desenvolvimento de uma versão do padrão IEEE 802.11 normalmente começa quando a anterior é lançada no mercado. Como tal o Wi-Fi 7 não é exceção e já existem rumores do que poderá ser o futuro do Wi-Fi com este padrão. Um novo artigo de pesquisa sobre o futuro padrão Wi-Fi 7 (**802.11be Extremely High Throughput**), afirma que este não será comercializado até o final de 2024. A norma 802.11be deverá suportar a tecnologia *Coordinated Multi User MIMO* (CMU-MIMO), que na prática vai garantir que os APs se comuniquem entre si, transmitindo dados em conjunto seguindo o padrão MIMO. Prevê-se que opere até 16 fluxos espaciais e utilize a modulação de sinal 4096-QAM. Com isso podemos esperar um *data rate* de 30Gbps e latência ainda mais baixa [18].

O Wi-Fi 7 terá em consideração o fato de o vídeo ser o tipo de tráfego dominante nos próximos anos. De acordo com o mais recente índice de rede visual da Cisco, em 2022, o tráfego de vídeo IP será responsável por 82% do tráfego IP total em todo o mundo, tanto para ambientes corporativos como para cenários domésticos [19]. Com a implementação do 5G, o tráfego Wi-Fi em ambientes interiores tende a ser mais requisitado. Isto deve-se ao facto das ondas rádio milimétricas (sigla do inglês *millimeter Waves*, mmWave) utilizadas no 5G terem dificuldade em atravessar obstáculos. O termo mmWave refere-se à parte do espectro de radiofrequência entre 24 GHz e 100 GHz com comprimentos de onda muito curtos.

Como já foi possível constatar ao longo desta secção, a necessidade de redes Wi-Fi cada vez mais eficientes e rápidas é um ponto assente devido à utilização acentuada dos vídeos

síncronos de ultra qualidade 8K, das aplicações de *E-Learning*, dos videojogos online, dos serviços baseados em localização, do VR e da AR de alta resolução.

De seguida é apresentado na Tabela 1 um resumo das principais características das normas do padrão IEEE 802.11 nomeadamente: a sua data de lançamento, banda de frequência utilizada, largura de banda, *data rate* máximo, número de antenas, modulação e técnica de transmissão.

Tabela 1 - Resumo das principais características das normas do padrão IEEE 802.11

Norma	Data de lançamento	Banda de frequência (Ghz)	Largura de banda (Mhz)	Max Data Rate (Mbps)	Nº de antenas	Modulação	Técnica de transmissão
802.11.1997	Junho 1997	2.4	22	2	1	DBPSK, DQPSK	DSSS, FHSS
802.11a	Setembro 1999	5	20	54	1	BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM	OFDM (SISO)
802.11b	Setembro 1999	2.4	22	11	1	DBPSK ou DQPSK	DSSS (SISO)
802.11g	Junho 2003	2.4	20	54	1	DPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM	OFDM (SISO)
802.11n	Outubro 2009	2.4/5	20	600	4	BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM	OFDM (MIMO)
			40				
802.11ac	Dezembro 2013	5	20	6933	8	BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM, 256-QAM	OFDM (MU-MIMO)
			40				
			80				
			160				
802.11ax	Setembro 2019	2.4/5/6 para Wi-Fi 6E	20	9607.8	8	BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM, 256-QAM, 1024-QAM	OFDMA
			40				
			80				
			160				

Além destas características, as normas do padrão IEEE 802.11 podem ser comparadas em termos de propriedades qualitativas como:

- *Beamforming*, consiste em direcionar o sinal RF para um local específico;
- MIMO, técnica utilizada a partir do padrão 802.11n e melhorada no 802.11ac *wave 2*, em que são utilizadas várias antenas, vários transmissores e vários recetores, permitindo aumentar significativamente as taxas de dados numa comunicação Wi-Fi;
- *Target Wake Time (TWT)*, permite que os dispositivos determinem quando e com que frequência ficam ativos para enviar ou receber dados;
- *BSS coloring* é uma técnica usada para melhorar a coexistência de BSSs sobrepostas e para permitir a reutilização espacial dentro de um canal. Sinais com a mesma cor BSS usam baixo limite RSSI o que reduz as colisões no mesmo BSS.

- Cobertura;
- Capacidade;
- Interferência.

A Tabela 2 ilustra uma comparação entre estas propriedades nas várias normas do padrão IEEE 802.11.

Tabela 2 – Análise comparativa entre as propriedades qualitativas nas várias normas do padrão IEEE 802.11

Parâmetro	802.11a	802.11b	802.11g	802.11n	802.11ac	802.11ax
Beamforming	Não	Não	Não	Sim	Sim	Sim
MIMO	Não	Não	Não	Sim	Sim	Sim
TWT	Não	Não	Não	Não	Não	Sim
BSS coloring	Não	Não	Não	Não	Não	Sim
Cobertura	Baixa	Alta	Alta	Maior nos 2.4Ghz	Baixa	Maior nos 2.4Ghz
Capacidade	Baixa	Baixa	Baixa	Maior nos 5Ghz	Alta	Alta
Interferência	Baixa	Alta	Alta	Maior nos 2.4Ghz	Baixa	Maior nos 2.4Ghz

De seguida passamos ao segundo ponto deste capítulo em que são apresentados alguns tópicos importantes no planeamento de uma WLAN.

2.2 Tópicos fundamentais no planeamento de uma rede de área local sem fios

Neste subcapítulo são abordados alguns conceitos do padrão IEEE 802.11 relevantes no planeamento de uma rede de área local sem fios (sigla do inglês *Wireless Local Area Network*, WLAN). Na secção 2.2.1 são mencionados os aspetos que são importantes considerar no planeamento de uma WLAN em termos de cobertura, na secção 2.2.2 são apresentados os pontos fundamentais no planeamento por capacidade e na secção 2.2.3 é abordado o conceito de *site survey* no planeamento destas redes. Em termos do planeamento por cobertura são relacionados conceitos como o tamanho da célula do AP, a potência de transmissão e a taxa de dados. É também explorada a forma como se define a área de cobertura, o roaming na mobilidade dos clientes no ambiente e o *layout* do canal. No que toca ao planeamento por capacidade serão abordados alguns conceitos chave como os utilizadores e acessos simultâneos, a largura de banda das aplicações, a taxa de transferência agregada e a definição do *layout* dos APs no ambiente.

2.2.1 Planeamento por cobertura

O planeamento de uma WLAN por cobertura consiste em definir o tamanho da célula de um AP de forma a garantir um nível de sinal adequado numa certa área para que o dispositivo e o cliente consigam estabelecer uma comunicação. A definição da célula do AP normalmente é realizada tendo em conta a *Received Signal Strength Indication* (RSSI) que indica a intensidade de um sinal de rádio recebido. Este planeamento envolve três variáveis: a potência de transmissão do AP, as características do ambiente físico nomeadamente o nível de atenuação dos materiais que constituem as infraestruturas físicas e as características técnicas do AP como o diagrama de radiação e a norma IEEE 802.11 utilizada.

Seguidamente, na secção 2.2.1.1 abordamos a relação entre o tamanho da célula do AP e a potência de transmissão, na secção 2.2.1.2 apresentamos a relação entre o tamanho da célula do AP e a taxa de dados, na secção 2.2.1.3 o conceito de área de cobertura, na 2.2.1.4 o roaming e por fim na 2.2.1.5 o *layout* do canal.

2.2.1.1 Tamanho da célula do AP e potência de transmissão

O *Basic Service Set* (BSS) é um elemento básico numa WLAN que representa um conjunto de estações a se comunicarem entre si, numa área designada de *Basic Service Area* (BSA). A BSA fornecida por um AP determina a área geográfica onde o serviço sem fios será fornecido aos clientes. Esta área pode variar dependendo de vários fatores que serão discutidos ao longo desta secção. O tamanho da célula de um AP é na verdade um compromisso entre a sua potência de transmissão e as taxas de dados que ele oferece [10]. O sinal de um AP não termina no limite da célula, expande-se *ad infinitum*, ficando exponencialmente mais fraco. No entanto, os dispositivos fora do limite da célula não conseguem se comunicar com o AP porque a força do sinal do cliente ou do AP é muito fraca para que o par encontre uma modulação que possa ser utilizada de forma a trocar informações. Na Figura 3 é exemplificado o caso de uma BSA com quatro clientes dentro da área de cobertura e um cliente fora.

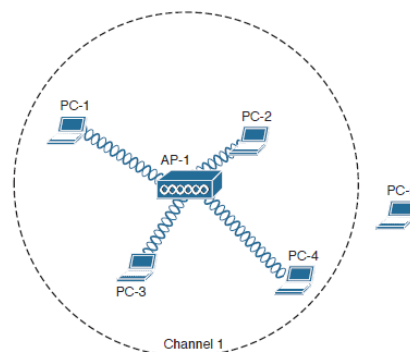


Figura 3 - Exemplo de uma BSA que inclui todos os clientes exceto um (PC-5) [10]

Para que uma comunicação possa ser realizada numa WLAN, os dispositivos devem estar localizados dentro do alcance do sinal do AP e ter uma associação ativa com o mesmo. O sinal de um AP por vezes pode não atingir uma estação por diversos fatores presentes no ambiente ou simplesmente pela natural perda do caminho de espaço livre. Aumentar ou diminuir a potência de transmissão (TX) de um AP influencia diretamente no tamanho da célula. A Figura 4 ilustra o tamanho da célula de um AP para diversas potências de transmissão nomeadamente 10dBm, 17dBm e 20dBm. Como é possível verificar, quanto maior a potência de transmissão, maior a área de cobertura. A maioria dos ambientes

802.11 enquadra-se nas regulamentações governamentais que limitam a potência irradiada isotrópica efetiva (sigla do inglês *Effective Isotropic Radiated Power*, EIRP) a um nível máximo de potência de transmissão de 20dBm (100 mW) [10].

Um aspeto importante a considerar é a natureza bidirecional das comunicações sem fio. Aumentar a potência de transmissão do AP pode fazer com que o sinal utilizável chegue mais longe e cubra maior área, mas nem sempre é uma solução viável e leva-nos ao problema da energia assimétrica em que a força de sinal do cliente não consegue atingir o AP. Os dois dispositivos de comunicação têm níveis de energia de transmissão diferentes que impedem que eles cheguem um ao outro.

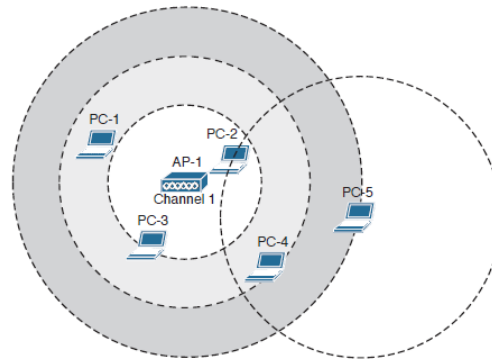


Figura 4 - Problema de energia assimétrica [10]

Como é possível verificar pela Figura 4 o sinal do AP chega ao cliente do PC-5, mas o sinal do PC-5 não chega ao AP e como tal não conseguem se comunicar porque a força do sinal do dispositivo cliente é muito fraca para que o par encontre uma modulação utilizável. É crucial definir apropriadamente o nível potência de transmissão de um AP dado que este afeta diretamente no RSSI do cliente. Por vezes é preferível utilizar uma potência de transmissão mais baixa e ter uma célula mais pequena de forma a evitar problemas de energia assimétrica e garantir a bidirecionalidade da comunicação.

2.2.1.2 Tamanho da célula do AP e taxa de dados

As taxas de dados mais altas utilizam esquemas de modulação e codificação (sigla do inglês *Modulation and Coding Schemes*, MCSs) mais complexos, que oferecem maior taxa de transferência. No entanto para garantir esta taxa de transferência elevada é necessário que o sinal seja maior que a sensibilidade do recetor e o *Signal Noise Radio* (SNR) deve ser alto o suficiente de forma a suportar o MCS necessário para uma determinada taxa de dados. O SNR representa a diferença entre o sinal Wi-Fi recebido pelo dispositivo cliente e o nível de ruído no ambiente medido em dB. O ruído são as transmissões inteligíveis que são emitidas por outros dispositivos ou por APs que estão a criar interferência na mesma frequência. O aumento das taxas de dados exige um aumento no SNR [9].

Na Figura 5 é exemplificado através de círculos concêntricos o intervalo de cada taxa de dados utilizada na banda dos 2.4Ghz à medida que um cliente a operar na norma IEEE 802.11g afasta-se do AP. Os mesmos princípios aplicam-se à banda de 5Ghz. À medida que o cliente afasta-se do AP e o MCS atual torna-se menos confiável, o deslocamento dinâmico da taxa (sigla do inglês *Dynamic Rate Switching*, DRS) seleciona um MCS menos complexo que proporciona taxas de dados mais baixas [10].

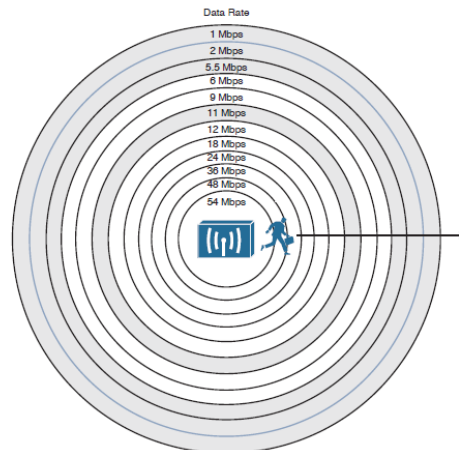


Figura 5 - Relação entre taxa de dados e tamanho da célula [10]

Uma boa prática para projetar uma WLAN de forma a obter melhor desempenho é desativar as taxas de dados mais baixas para forçar os clientes a utilizar melhores esquemas de modulação e codificação, o que, conseqüentemente, proporciona taxas de transferência de dados mais altas. Ao adotar esta medida a célula do AP fica menor, no entanto a cobertura do sinal RF permanece igual e precisa de ser considerada no planeamento do *layout* da WLAN de forma a não proporcionar níveis de ruído muito altos [10].

A título de exemplo, no padrão IEEE 802.11ac os clientes e APs têm dez opções de MCS por fluxo espacial. A Figura 6 mostra um cliente 802.11ac à medida que se afasta de um AP. O cliente pode começar a usar o MCS 9 muito perto do AP, diminuindo gradualmente os números restantes do MCS cada vez que o SNR cair abaixo de um limite correspondente.

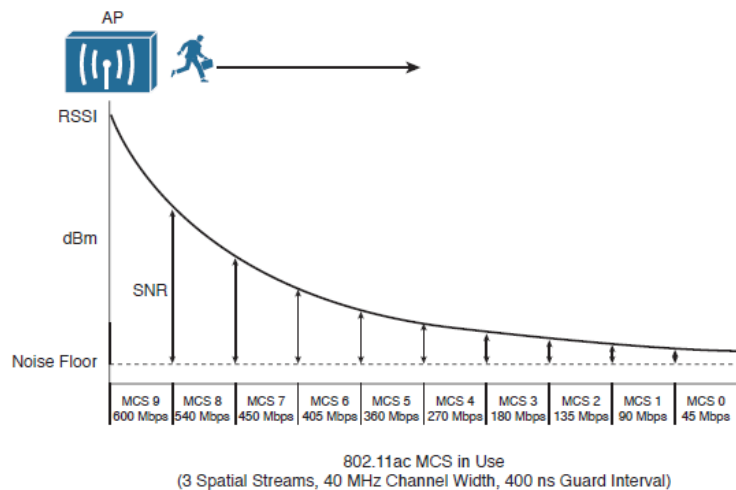


Figura 6 - MCS, taxas de dados, e tamanho de célula num cliente 802.11ac [10]

2.2.1.3 Área de cobertura

Como referido anteriormente, o BSS refere-se a um conjunto de estações que se comunicam entre si, numa área designada de BSA, esta determina a área geográfica onde o serviço sem fios será fornecido aos clientes. A utilização de apenas uma célula de um AP não é suficiente quando se quer cobrir uma grande área. Para isso precisamos agrupar várias BSS de forma a estender a cobertura na área pretendida, formando assim uma

Extended Service Set (ESS). Inicialmente precisamos definir o tamanho da célula do AP com base nas taxas de dados e no desempenho. Posteriormente necessitamos de adicionar pontos de acesso para criar um ESS que cubra mais área. A adição de pontos de acesso requer uma consideração cuidadosa da mobilidade do cliente e do uso de canais. A associação de um cliente a um AP acontece enquanto o cliente permanece dentro do alcance do AP e as seguintes 3 condições forem garantidas [10]:

- O cliente pode receber o sinal do AP num nível aceitável (recomendado um valor superior a -67dBm para comunicações de voz e dados);
- O AP é capaz de receber o sinal cliente;
- Uma das modulações aceitáveis são utilizadas entre o cliente e o AP.

Quando uma ou mais das condições descritas anteriormente falham, o cliente perde a associação com o AP e outros pontos de acesso devem existir para que o cliente possa se associar e continuar dentro da cobertura da ESS. O *layout* dos APs deve ser planejado cuidadosamente para permitir que o cliente passe de um AP para outro de forma limpa, sem perder a ligação. Além disso devemos ter em consideração o canal de operação do AP de forma a evitar colisões de quadros na área entre as duas células e não provocar interferência co-canal.

2.2.1.4 Roaming

O roaming é o processo de mover uma associação de um AP para outro de forma que a conexão sem fio seja mantida à medida que o cliente se move dentro de uma ESS. A associação consiste basicamente em criar uma ligação virtual entre a estação terminal e o AP para que possam partilhar um canal bidirecional de transferência de dados. Para que o roaming ocorra de forma eficaz as células dos APs adjacentes devem sobrepor-se de 10% a 15% para a maioria dos aplicativos de dados e de 15% a 20% para voz [10]. O objetivo é dar a um dispositivo cliente uma cobertura contínua, mesmo após o RSSI do AP associado cair abaixo de um limite e um roaming possa ser acionado. O cliente pode sondar e reassociar com o próximo AP antes de perder completamente o contato com o AP anterior. O roaming contínuo é especialmente importante para aplicativos de tempo crítico, como tráfego de voz.

Além disso os canais dos APs adjacentes devem ser configurados de forma a não se sobreporem. Na banda dos 2.4Ghz existem apenas 3 canais sem sobreposição de frequência, o canal 1, 6 e 11. Na Figura 7 é possível visualizar a disposição e a frequência de operação dos canais na banda dos 2.4Ghz.

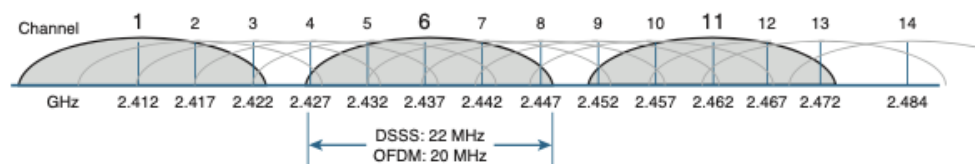


Figura 7 – Disposição dos canais na banda dos 2.4Ghz [10]

Já a banda de 5 GHz é muito mais flexível pois possui mais canais não sobrepostos disponíveis. De facto, todos os canais são espaçados de modo que não se sobreponham. A Figura 8 mostra a disposição e a frequência de operação dos canais na banda dos 5Ghz.

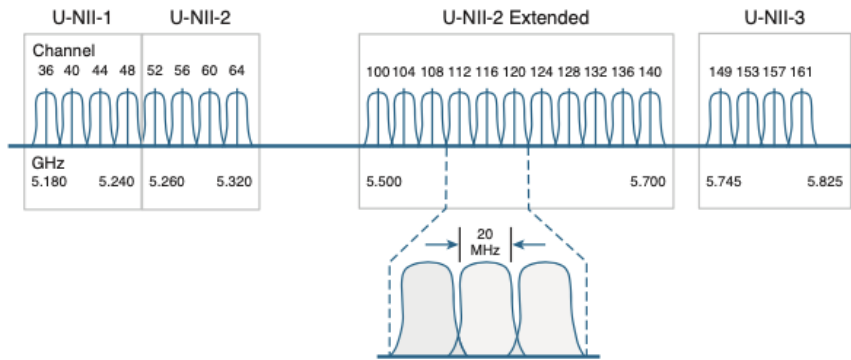


Figura 8 – Disposição dos canais na banda dos 5GHz [10]

A decisão de realizar roaming é exclusivamente do cliente sem fios com base no algoritmo de roaming específico do seu fornecedor. Alguns dos ingredientes do algoritmo de roaming geralmente são resultado da análise a variáveis que indicam uma conexão de qualidade inferior como o RSSI, o SNR, uma contagem de *beacons* AP perdidos e erros devido a colisões ou interferências. A Figura 9 ilustra o processo de roaming de um cliente à medida que se movimentava na ESS.

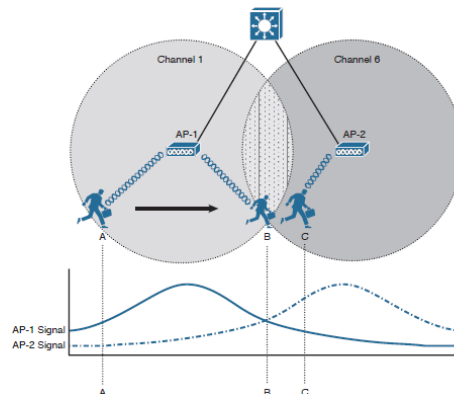
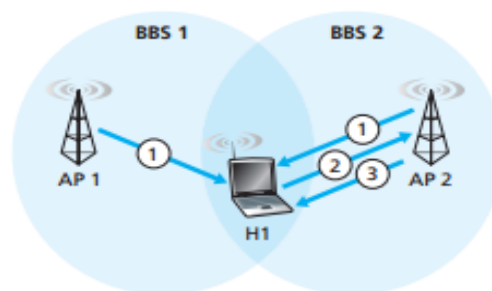


Figura 9 - Roaming limpo entre 2 APs [10]

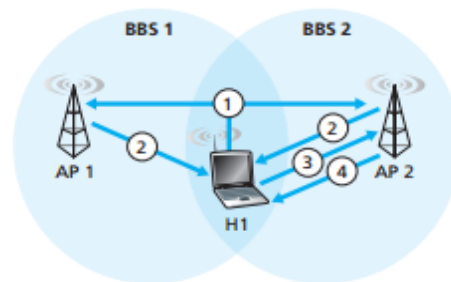
É necessário que ocorra uma pesquisa dos APs disponíveis no ambiente para que uma nova associação possa ser feita. O processo de pesquisa dos APs pode ser realizado de forma passiva ou ativa. Na pesquisa passiva os APs enviam tramas periódicas denominadas de *beacon frames* à estação terminal. Essas constam dados como a identificação do AP, SSID e o *MAC address*. Depois da recepção das várias tramas, provenientes dos diferentes APs a estação terminal escolhe um AP para associar-se. A Figura 10 ilustra o processo de pesquisa passiva.



- a. **Passive scanning**
1. Beacon frames sent from APs
 2. Association Request frame sent: H1 to selected AP
 3. Association Response frame sent: Selected AP to H1

Figura 10 - Pesquisa passiva no roaming

Já na pesquisa ativa a estação terminal envia uma trama *probe* do tipo *broadcast* a todos os APs de forma a informar que quer associar-se. Depois de receber a resposta dos diferentes *probes* a estação terminal escolhe qual dos APs deseja se conectar. Este processo encontra-se ilustrado na Figura 11.



- a. Active scanning
1. Probe Request frame broadcast from H1
 2. Probes Response frame sent from APs
 3. Association Request frame sent: H1 to selected AP
 4. Association Response frame sent: Selected AP to H1

Figura 11 - Pesquisa ativa no roaming

Depois de escolher o AP a associar-se, é realizado um pedido de autenticação de baixo nível (*Auth Request*). O AP responde ao pedido de autenticação (*Auth Response*) e o dispositivo do cliente encontra-se autenticado, mas não associado. Seguidamente o cliente poderá proceder ao pedido de associação através de um diálogo *request/response*. A Figura 12 ilustra o processo referido anteriormente.

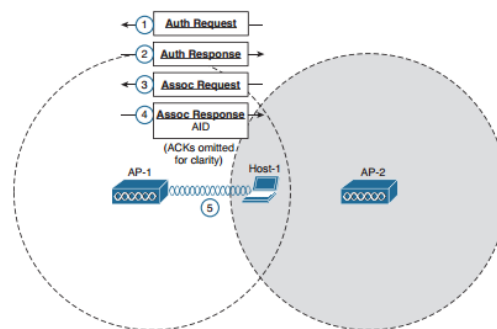


Figura 12 - Processo de associação de um cliente a uma BSS [10]

2.2.1.5 Layout do canal

Como a maioria dos ambientes necessita de mais de 2 APs para cobrir a área pretendida é necessário considerar o *layout* e a configuração dos mesmos. Um *survey* no local é um passo crucial para decidir a localização dos APs, pois são efetuadas medições reais no ambiente além de levar em consideração fatores como perda de espaço livre e absorção. O conceito de *site survey* será abordado mais em detalhe na secção 2.2.3.

Para minimizar a sobreposição e interferência de canal, as células dos APs adjacentes devem ser projetadas de maneira a que utilizem canais diferentes. Estas células precisam de ser dispostas da forma comumente designada “favo de mel”. A Figura 13 mostra a disposição de quatro APs na banda dos 2.4Ghz. Este padrão é contínuo, não deixa buracos na cobertura e as células dos APs que operam no mesmo canal ficam separadas, evitando interferências.

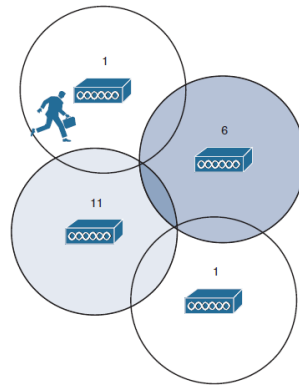


Figura 13 - Padrão de canal alternado na banda dos 2.4Ghz [10]

A utilização de canais alternados para evitar sobreposição é normalmente designada de reutilização de canal. O padrão básico mostrado na Figura 13 pode ser repetido para expandir numa área maior. Embora no *layout* ilustrado as células dos APs sejam representadas com circuitos perfeitos que são posicionados regularmente no ambiente, na prática, as células podem assumir diferentes formas dependendo do diagrama de radiação dos APs e das características físicas do ambiente. Por esse motivo os locais dos APs podem ser espaçados irregularmente.

Um sinal de RF que se propaga a partir de uma antena assume uma forma tridimensional. Com uma antena omnidirecional, o padrão é semelhante a uma forma de rosca com a antena no centro. O sinal estende-se para fora, dando à célula uma forma circular ao longo do chão. O sinal também se expande para cima e para baixo em menor extensão, afetando também as células dos AP em pisos adjacentes. Por essa razão o padrão de canais alternados existe dentro do plano de um piso e entre pisos. Normalmente visualizamos o sinal RF em duas dimensões sobre a área de um piso. Mas a realidade é que o sinal RF propaga-se em três dimensões. Desta forma os sinais podem passar através dos materiais do piso e do teto para os pisos adjacentes, após serem absorvidos ou atenuados pelos materiais. Como tal, é necessário considerar o padrão alternado entre pisos para que o mesmo canal num piso não se sobreponha ao outro. A Figura 14 exemplifica a definição do *layout* dos APs na banda dos 2.4Ghz num edifício com 3 pisos. Na banda dos 2.4Ghz ficamos limitados a 3 canais que podemos utilizar sem sobreposição nomeadamente o canal 1, 6 e 11. Se esta configuração fosse feita na banda dos 5Ghz existiriam muitos mais canais utilizáveis e a configuração do canal dos APs no ambiente seria menos complexa.

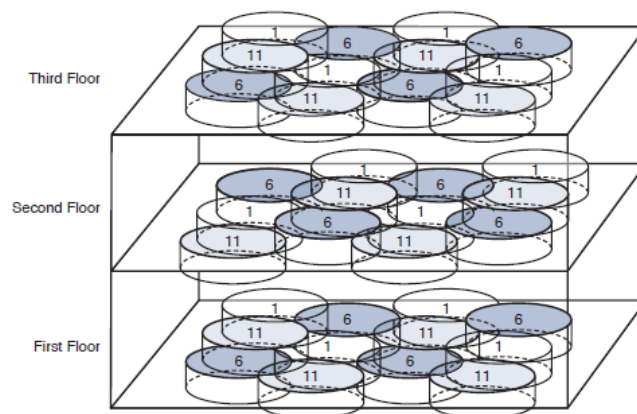


Figura 14 - *Layout* do canal em 3 dimensões na banda dos 2.4Ghz [10]

2.2.2 Planeamento por capacidade

Nos dias que correm, com o crescimento acelerado dos dispositivos IoT os utilizadores não pretendem apenas conectar os seus *laptops* e *smartphones* a uma rede Wi-Fi, existem cada vez mais dispositivos e acessos bem como um leque de aplicações mais exigentes a nível de largura de banda e baixa latência como o *streaming* de vídeo de alta qualidade, a realidade virtual e a realidade aumentada.

O planeamento apenas para cobertura torna-se insuficiente para as necessidades dos utilizadores atuais, um planeamento adequado da WLAN por capacidade e cobertura irá reduzir a maioria das reclamações sobre o desempenho das redes Wi-Fi [20]. Projetar por cobertura possivelmente economiza um projeto a nível financeiro, mas a sua *performance* pode ser diretamente afetada. Os clientes mais distantes do AP, embora estejam dentro da sua célula, utilizam taxas de modulação e codificação menos complexas, afetam o *airtime* e consequentemente terão *throughput* menores. Por vezes é preferível optar por ter mais APs a operar com células menores de forma a obrigar os clientes a utilizar taxas de modulação e codificação mais complexas.

Para projetar uma WLAN por capacidade é necessário analisar variáveis como: as aplicações e a largura de banda necessária, o número e tipo de utilizadores que vão utilizar a rede, a quantidade de acessos simultâneos e o tipo de dispositivos. Seguidamente vamos abordar como estes conceitos devem ser considerados no planeamento de uma WLAN. Na secção 2.2.2.1 é analisado o tópico dos utilizadores e da largura de banda das aplicações, na 2.2.2.2 a taxa de transferência agregada e na 2.2.2.3 o *layout* dos APs no ambiente.

2.2.2.1 Utilizadores e largura de banda das aplicações

Para definirmos adequadamente os requisitos de capacidade precisamos inicialmente de caracterizar os utilizadores e as aplicações. Será importante sabermos quantos utilizadores existem na rede, o número de acessos simultâneos e os dispositivos em termos de sistema operativo utilizado e norma IEEE 802.11 suportada. Além disso é crucial caracterizar as aplicações utilizadas na rede e a largura de banda típica necessária para cada uma dessas aplicações.

A Tabela 3 ilustra os requisitos de largura de banda para algumas aplicações comuns num ambiente de ensino.

Tabela 3 - Requisitos de largura de banda por aplicação num ambiente de ensino [21]

Aplicação	Throughput
Web browsing	500 Kbps – 1 Mbps
Áudio	100 Kbps – 1 Mbps
Streaming de vídeo	2 Mbps – 4 Mbps
Impressão	1 Mbps
Partilha de ficheiros	1 Mbps – 8 Mbps
Teste online	2 Mbps – 4 Mbps
Backups	10 Mbps -50 Mbps

Embora estes valores sejam típicos, podem surgir alterações dependendo do sistema operativo e do *browser* utilizado. Uma aplicação que funciona bem a 100Kbps num *laptop Windows* com *Microsoft Internet Explorer* ou *Firefox* pode exigir maior largura de banda ao ser visualizada num *smartphone* ou *tablet* com um *browser* e sistema operativo integrados [21]. Como tal é recomendável testar a aplicação de destino e validar os seus requisitos reais de largura de banda.

Definidos os requisitos a nível dos utilizadores e das aplicações é necessário calcular a taxa de transferência agregada por área de utilização.

2.2.2.2 Transferência agregada

Depois de identificarmos a largura de banda necessária por aplicação, é necessário calcular a taxa de transferência agregada comumente designada de *bitrate*. Esta taxa representa a quantidade de fluxos ativos gerados pelos utilizadores numa aplicação dentro da área que pretendemos cobrir com a WLAN. Normalmente temos uma taxa de transferência agregada para diferentes áreas. Por exemplo, num contexto escolar contamos com uma taxa de transferência agregada para as salas de aula, outra para os corredores e gabinetes, salas de estudo, biblioteca, anfiteatros. Isto deve-se ao facto das necessidades aplicacionais e da quantidade de acessos simultâneos divergirem entre estes espaços.

A taxa de transferência agregada é no fundo uma relação entre a taxa de transferência da aplicação e o número de acessos em simultâneo naquela área. Esta pode ser representada pela seguinte equação [20]:

Taxa de transferência agregada = [Taxa de transferência da aplicação] * [Número de acessos simultâneos]

Por exemplo, um projeto de uma rede Wi-Fi de uma escola que pretenda suportar *streaming* de vídeo em HD, requer tipicamente 4Mbps por utilizador. Numa sala de aula com 29 alunos e 1 professor, cada um com um dispositivo, necessitará de uma taxa de transferência agregada de 120Mbps e o cálculo seria feito da seguinte forma:

Taxa de transferência agregada = 4 Mbps * 30 utilizadores (29 alunos + 1 docente) = 120 Mbps

A obtenção deste valor será importante para definir o *throughput* mínimo que o AP deve garantir dentro da sala de aula de forma a responder ao requisito de todos os utilizadores em simultâneo a gerar fluxos naquela aplicação.

O *throughput* do AP geralmente é ditado pelos recursos do dispositivo do cliente, utilizadores associados em simultâneos, normas do padrão IEEE 802.11 suportadas e largura de banda requerida pelas aplicações [20]. Para garantirmos qualidade de experiência ao utilizador (sigla do inglês *Quality Of Experience*, QoE) numa rede Wi-Fi devemos certificar que o número de dispositivos por rádio está consideravelmente abaixo do valor teórico que é suportado pelo modelo do AP utilizado. Num contexto de alta densidade, de forma a diminuir a interferência, é importante utilizar larguras de canal menores para que o número de APs que fazem uso do mesmo canal seja reduzido.

2.2.2.3 *Layout dos Access Points no ambiente*

A definição do *layout* dos APs no ambiente advém dos requisitos de cobertura e capacidade definidos ao longo de todo o processo de planeamento.

Antigamente um projeto de uma rede Wi-Fi era focado somente na questão da cobertura. Interessava determinar o número de pontos de acesso necessários de forma fornecer cobertura nos espaços alvo de utilização. Adotar este processo é adequado para um planeamento apenas por cobertura e em redes domésticas pouco exigentes, mas certamente não é a melhor abordagem para atender aos requisitos de capacidade de uma rede atual nem de uma rede corporativa, quando planeamos apenas a cobertura de RF não consideramos elementos-chave como: o número de acessos simultâneos, necessidades de largura de banda das aplicações e tecnologias IEEE 802.11 utilizadas pelos dispositivos [22].

Uma vantagem da abordagem ultrapassada de planear exclusivamente por cobertura é a economia decorrente da instalação da quantidade mínima de APs no projeto, no entanto a desvantagem é que os requisitos de desempenho e estabilidade possivelmente não serão alcançados em todos os locais, principalmente para aqueles clientes mais distantes que são conectados na periferia das células dos APs. Estes clientes recebem um sinal mais fraco e operam com níveis baixos de modulação para conseguir entender os sinais de pior qualidade do AP, o que afeta o desempenho de toda a célula dado o uso ineficiente do *airtime*, isto é, a percentagem de tempo que cada cliente consome na rede Wi-Fi [23]. O tempo que uma única estação consome do *airtime* pode ser maior ou menor conforme a necessidade de tráfego do cliente e das taxas de modulação utilizadas na transmissão, quanto maior o índice de modulação utilizado, menor será a quantidade de *airtime* necessário para transmitir o mesmo volume de dados que seria necessário com modulações menores [23].

Definidas as 2 abordagens de planeamento por cobertura e capacidade, podemos realizar o projeto do *layout* dos APs no ambiente. Este pode ser feito com recurso a um *survey* preditivo através de cálculos teóricos com uma ferramenta de *software* como o *EKahau*⁴. O *EKahau* permite validar, otimizar, solucionar e projetar uma WLAN, o que o torna uma ferramenta completa e robusta para lidar com redes Wi-Fi.

De forma a exemplificar genericamente que tipo de cálculos são feitos para determinar a quantidade de APs necessária numa certa área, utilizamos o exemplo da área de uma sala de aula com os seguintes requisitos:

- A aplicação mais exigente a suportar é o *streaming* de vídeo, que requer 4 Mbps com qualidade HD.
- A sala de aula tem a capacidade de 80 alunos em simultâneo.
- Todos os dispositivos suportam o padrão IEEE 802.11ac wave2.
- O AP está configurado com canais de 80MHz.
- O AP opera até 867Mbps de taxa de transferência efetiva.

Para calcular aproximadamente quantos APs são necessários de forma a satisfazer os requisitos da aplicação de *streaming* de vídeo HD, usamos a seguinte fórmula [22]:

⁴ *EKahau* - <https://www.ekahau.com/>

Número de APs = [Taxa de transferência agregada da aplicação] / [Taxa de transferência do AP] = 320 Mbps / 867 Mbps = 0,37 ~ 1 AP por sala de aula.

Embora o *survey* preditivo seja uma ajuda relevante no planeamento de uma WLAN, geralmente este é baseado em cálculos teóricos e não em medições reais, daí a necessidade de um *survey* no modo ativo para validar o planeamento realizado de forma preditiva. Desta forma, um *survey* ativo no local é essencial para validar a cobertura de sinal adequada em todas as áreas, o espaçamento dos APs com o mínimo de interferência co-canal e a sobreposição apropriada das células de forma a provocar um roaming limpo. Além disso é importante considerar o ambiente de RF, os materiais de construção da infraestrutura física e a taxa de transferência efetiva do AP em comparação com a anunciada pelo fabricante [22].

O conceito de *site survey* e os diferentes tipos de *survey* serão abordados mais em detalhe na secção seguinte.

2.2.3 Site Survey

O *site survey* é muito importante ao longo de todo o processo de planeamento. Desde a fase de validação da rede atual para verificar o estado da rede e identificar eventuais problemas, no projeto para definir uma rede tendo em conta a cobertura e a capacidade, ajuda-nos a definir o tamanho da célula dos APs bem como o *layout* dos mesmos no ambiente, até à fase de validação final, após a rede estar implementada, onde a realização do *survey* é essencial para verificar se a rede se encontra a funcionar da forma que foi planeada inicialmente.

Para verificar a cobertura e o desempenho da WLAN, é necessário entrar na perspetiva de um cliente sem fios. Os *site surveys* são pesquisas no local que oferecem uma maneira de prever ou fazer medições das condições de RF que um cliente experimenta em vários locais dentro da área de cobertura da rede de área local sem fios. Estas pesquisas produzem *heatmaps* que descrevem parâmetros como RSSI, SNR, *throughput* e *data rate*.

Existem 3 tipos de *survey*: preditivo, passivo e ativo. Todos eles são fundamentais no planeamento de uma rede Wi-Fi [10].

O ***survey* preditivo**, também designado de planeamento, é normalmente utilizado antes de realizar o estudo no ambiente ou quando o mesmo não é possível, em situações que o local está em construção ou interdito. É um estudo prévio, uma simulação que permite planejar um projeto de uma WLAN tendo em conta a cobertura e a capacidade.

No ***survey* passivo** são feitas medições reais no ambiente usando dispositivos clientes. Este é utilizado numa fase inicial para analisar o ambiente ou em cenários de resolução de problemas. Uma pesquisa passiva no local é útil para medir a cobertura aparente de RF e para identificar APs legítimos e não autorizados. Todas as medições são realizadas apenas ouvindo, sem se conectar a um AP específico. Portanto, uma pesquisa passiva não revela nenhuma informação sobre o *throughput* ou atividade de roaming da perspetiva do cliente. O *survey* passivo mede variáveis como nível de sinal e área de cobertura.

O ***survey* ativo** dá-nos uma perspetiva no ambiente real do lado do cliente. O dispositivo de pesquisa atua como um cliente sem fios comum, associando-se a um AP. Como o

dispositivo de pesquisa é transportado por toda a área de cobertura, este é livre para se associar e percorrer a WLAN tal como um cliente normal o faria. As medições das associações, *throughput* e atividade de roaming do cliente são registadas à medida que ocorrem. O dispositivo de pesquisa pode ser configurado para um dos dois métodos ativos de pesquisa:

- BSSID - a pesquisa é bloqueada para um BSSID específico, para que o cliente permaneça associado a um único AP de forma a medir uma única célula.
- SSID - o cliente pode associar-se e mover-se para qualquer AP, conforme necessário dentro do mesmo SSID.

As medições obtidas num *site survey* ativo representam o comportamento do adaptador sem fios, da antena, dos drivers e do sistema operativo do dispositivo de pesquisa. Um cliente com um dispositivo e *software* diferente pode não obter exatamente os mesmos resultados. Existem vários *softwares* para realização de *site surveys*. A Tabela 4 apresenta algumas ferramentas comuns utilizadas na execução de cada um dos tipos de *survey* descritos anteriormente.

Tabela 4 – Ferramentas comuns para realizar *Surveys* [10]

Tipo de <i>Survey</i>	Ferramentas comuns de surveys
Preditivo	<i>Fluke Networks AirMagnet Planner (standalone)</i>
	<i>Ekahau Site Survey + Wi-Fi Planner (standalone)</i>
	<i>Cisco Prime Infrastructure (server-based)</i>
	<i>Cisco Predictive RF Planner (cloud-based, for Cisco Partners only)</i>
	<i>Aerohive Wi-Fi Planner (cloud-based, for Aerohive APs only)</i>
Passivo	<i>Fluke Networks AirMagnet Survey Pro (standalone)</i>
	<i>Ekahau Site Survey (standalone)</i>
Ativo	<i>Fluke Networks AirMagnet Survey Pro (standalone)</i>
	<i>Ekahau Site Survey (standalone)</i>

Além destas ferramentas, num *survey* também pode ser utilizado um analisador de espectro para detetar e identificar qualquer fonte de interferência que possa existir, como as causadas por dispositivos IEEE 802.11 e outras fontes de interferência de dispositivos como micro-ondas, telefones sem fios, rádios bidirecionais e determinadas fontes elétricas externas como linhas de alimentação. Ferramentas como o *AirMagnet Spectrum XT*⁵ ou o *MetaGeek Chanalyzer*⁶ permitem recolher dados e analisar a atividade do espectro de RF.

Em seguida passamos ao terceiro ponto deste capítulo referente à digitalização do ensino.

⁵ AirMagnet Spectrum XT - airmagnet.com

⁶ MetaGeek Chanalyzer - <http://metageek.com>

2.3 Digitalização do ensino

Na secção 2.3.1 deste subcapítulo são abordados alguns projetos relacionados com a digitalização do ensino a nível nacional e internacional, provenientes da pesquisa de artigos científicos em diferentes bases de dados nomeadamente o *Association for Computing Machinery (ACM)*, *ResearchGate* e *IEEE Xplore*. Esta revisão teórica pretende analisar de que forma as redes de comunicação de dados estão relacionadas com os projetos de digitalização do ensino e a sua influência na aprendizagem. São aqui apresentados alguns projetos semelhantes ao Projeto dos Manuais Digitais em que os alunos fazem uso dos manuais escolares e de uma plataforma de ensino-aprendizagem em *tablets*, bem como outros projetos desta natureza. Na secção 2.3.2 é realizada uma análise refletiva da influência das redes de comunicação em projetos relacionados com a digitalização do ensino.

2.3.1 Projetos relacionados com a digitalização do ensino

A digitalização do ensino é uma forma de aprendizagem com recurso às novas tecnologias. Esta vem adicionar novas e variadas formas de aprender sem fatores condicionantes como o tempo, lugar e percurso [24].

Existem cada vez mais projetos relacionados com a digitalização do ensino a nível nacional e internacional. Para além da iniciativa dos Manuais Digitais na RAM podemos referir a título de exemplo outros projetos educativos de sucesso no uso dos manuais em formato digital nos *tablets* nomeadamente os que são praticados no Colégio Vasco da Gama e na Câmara Municipal de Vila Nova de Gaia [25]. Alguns dos fatores que motivam os alunos e os professores a adotar este método de ensino são o acesso fácil a recursos audiovisuais, a redução do peso nas mochilas e os diferentes meios de aprendizagem.

O uso de *tablets* no ensino tem mostrado ser uma mais-valia na aprendizagem, inclusive para alunos de educação especial [26]. Na cidade de Québec, no Canadá, foi feito um estudo a 54 estudantes durante 3 anos sobre o uso de *tablets (Ipads)* para o ensino especial. Este artigo mostra os benefícios e os desafios que os professores e os alunos têm que enfrentar para a correta adoção desta metodologia de ensino. As vantagens estão claramente no melhor relacionamento dos alunos com a escola, na sua motivação na aprendizagem e no desenvolvimento de habilidades sociais e ocupacionais. Os principais desafios identificados são a formação dos professores no uso das ferramentas digitais em *tablets* no ambiente escolar e o controlo da aprendizagem dos alunos de forma a não criar demasiadas distrações digitais fora do âmbito da aprendizagem [26].

A utilização de jogos digitais didáticos tem mostrado ser um método de aprendizagem eficaz para os mais novos [27]. Um estudo com utilização de *tablets* para realização de uma variedade de atividades de aprendizagem com recurso a jogos foi conduzido numa escola primária na Croácia. Esta experiência foi realizada com 59 alunos do segundo e terceiro ano que utilizaram jogos para aprender matemática. Os dados recolhidos mostraram que o ambiente de ensino com jogos tem um efeito positivo na motivação, os alunos ficam focados num exercício durante mais tempo e resolvem uma quantidade superior de exercícios comparativamente a uma abordagem sem jogos [27].

Há muitos projetos focados na competência em matemática, mas poucos na linguagem e competência de comunicação. Uma experiência realizada na cidade de Puebla (México)

com 520 participantes entre eles alunos do pré-escolar, professores e encarregados de educação, pretendeu identificar os efeitos da incorporação de *tablets* como recurso de ensino no desenvolvimento de competências linguísticas e de comunicação. A aplicação de *tablets* por meio da aprendizagem colaborativa foi interpretada de forma muito positiva pelos professores ao identificar as suas vantagens para os alunos. Este estudo mostrou resultados promissores e uma melhoria na avaliação das crianças. O uso de *tablets* revelou fomentar a aprendizagem colaborativa, melhorar as conquistas de aprendizagem e garantir um ambiente mais positivo e motivador [28].

Os sistemas de aprendizagem baseados em *smartphones* e *tablets* são normalmente utilizados em regiões urbanas com economias emergentes. As razões para essas disparidades educacionais incluem a falta de acesso a professores qualificados, carência de infraestruturas de rede adequadas nas escolas e falta de recursos técnicos e financeiros nas regiões rurais. Os custos de oportunidade para educar crianças em comunidades rurais são maiores. No entanto, um estudo no uso de uma aplicação de alfabetização precoce conduzido numa vila rural na Tanzânia, onde os utilizadores não eram familiarizados com a utilização de equipamentos tecnológicos, mostrou ganhos modestos de aprendizagem, muitas vezes atribuindo esses resultados à curiosidade inata das crianças em ensinarem a si mesmas o conteúdo, bem como o envolvimento dos seus colegas para a aprendizagem colaborativa [29].

É notório o potencial dos *smartphones* e *tablets* à medida que os dispositivos móveis se integram cada vez mais firmemente no nosso quotidiano. Os dispositivos móveis oferecem oportunidades educacionais únicas, um maior envolvimento do aluno e uma expansão do ambiente de aprendizagem fora da escola [30].

A digitalização do ensino não se limita ao uso dos manuais digitais e recursos didáticos em *tablets*. Nos últimos anos, a disponibilidade de visualizadores de *Virtual Reality* (VR) móveis acessíveis resultou num grande interesse em incorporar *Immersive Virtual Reality* (IVR) na sala de aula. A Universidade de Auckland, na Nova Zelândia conduziu um estudo para comprovar a eficácia do uso de VR na aprendizagem. Esta experiência foi realizada com 36 crianças entre os 11 e 13 anos. O efeito de interatividade utilizando VR num ambiente real de sala de aula mostrou tornar as aulas mais envolventes e uma possibilidade de melhorar o desempenho dos alunos no processo de aprendizagem [31].

Nos EUA, como parte da iniciativa *Reinvent the Classroom*⁷, uma colaboração com a HP⁸, a Microsoft⁹ e a Intel¹⁰, a *Digital Promise Global*¹¹ apresenta três programas eficazes para ensino e aprendizagem com tecnologia [32]:

- *HP Teaching Fellows*: A *Digital Promise Global* apoia financeiramente educadores inovadores no ensino fundamental e médio nos Estados Unidos e Canadá que demonstram ensino e aprendizagem com tecnologia. Qualquer pessoa pode candidatar-se através de um formulário online. Com isto projetam-se experiências de aprendizagem que são pessoais, acessíveis, autênticas, desafiadoras, colaborativas, interessantes e reflexivas [32].

⁷ Reinvent the Classroom - <https://global.digitalpromise.org/reinvent-the-classroom/>

⁸ HP - <https://www8.hp.com/pt/pt/home.html>

⁹ Microsoft – <https://www.microsoft.com>

¹⁰ Intel – <https://www.intel.com>

¹¹ Digital Promise Global - <https://global.digitalpromise.org/>

- Escolas *HP Spotlight*: Em 2 Escolas secundárias dos Estados Unidos, *William F. Halloran School No. 22* e *Lone Star Middle School*, praticam-se métodos de ensino e aprendizagem com tecnologia. Lançaram a sua iniciativa de computação individual em 2014 e agora todos os alunos têm um *laptop touch* HP11G2 e acesso ao pacote *Microsoft office 365*. O seu principal objetivo é tornar o ensino divertido e conseguir fazer com que os alunos pensem “fora da caixa”. Os alunos contam com um método de ensino que os obriga a pensar e a questionar sobre o que foi aprendido a vários experientes na área, de forma informal. Por exemplo numa matéria de astronomia, os alunos leem sobre estrelas, constelações e espaço sideral, as dúvidas levam a questões que são formuladas e debatidas via *Skype* com um doutorando da Universidade de *Harvard* [32].
- *Learning Studios*: São uma rede global de espaços de ensino projetados para a aprendizagem experiencial. Centra-se na resolução de problemas gerados por alunos ou docentes. Estão atualmente em funcionamento em mais de 80 escolas na América do Norte, Europa, Médio Oriente, Austrália e Nova Zelândia. Para apoiar os educadores nos *Learning Studios*, a *Digital Promise Global* oferece oportunidades de aprendizagem profissional. Esta disponibiliza uma comunidade de aprendizagem online em que desenvolve e organiza atividades criativas onde os alunos e professores estão envolvidos e compartilham as suas vivencias [32].

A aprendizagem não se dá exclusivamente dentro de uma sala de aula e o confinamento para conter a situação pandémica provocada pela COVID-19 veio mostrar como o método de ensino presencial pode ser forçosamente alterado. Numa fase inicial do período de confinamento os professores, pais e alunos tiveram alguma dificuldade em encontrar ferramentas de educação digital confiáveis e fáceis de utilizar. O projeto Up2U¹² financiado pela UE oferece serviços online gratuitos para ajudar professores, pais e alunos a manterem-se em contato e a continuar a desenvolver o seu trabalho remotamente. Este projeto surge com o objetivo de disponibilizar um portfólio com ferramentas que fornecem um ambiente digital completo para escolas de ensino médio e universidades bem como permitir ao utilizador criar os seus próprios cursos, armazenar conteúdo, assistir e participar nos cursos online [33].

As novas tecnologias estão cada vez mais presentes na nossa sociedade e podem representar o futuro no ensino ao apresentar formas inovadoras de aprendizagem. Embora o uso da tecnologia nas escolas ainda possa suscitar algum receio por temerem o declínio das relações interpessoais, muitas pesquisas têm mostrado o seu potencial na educação. A capacidade de autoaprendizagem e motivação inerentes à digitalização do ensino poderá fazer com que os alunos estejam mais bem preparados para se adaptarem à mudança e lidar com diferentes e novas formas de trabalho [34]. A direção chave da engenharia do processo educacional é a formação e manutenção de um ambiente educacional em desenvolvimento, caracterizado pelo dinamismo, flexibilidade e resiliência [35]. No entanto é fundamental identificar os desafios associados à sua correta integração não só a nível docente como em termos técnicos no que se refere às redes de comunicação que suportam projetos desta natureza.

Seguidamente é feita uma análise refletiva da influência das redes de comunicação de dados em projetos relacionados com a digitalização do ensino.

¹² Projeto Up2U - <https://up2university.eu/>

2.3.2 Influência das redes de comunicação de dados

A maior parte dos projetos relacionados com a digitalização do ensino começam com experiências piloto em que se insere apenas uma pequena parte da comunidade escolar de forma a testar o seu funcionamento e a sua eficácia em ambiente real de utilização. Muitas vezes não é realizado um planeamento prévio para uma rede própria de forma suportar o projeto, utiliza-se a rede atual da infraestrutura ou efetua-se um projeto *ad-hoc* para suportar apenas os espaços que serão utilizados nesta fase de ensaio.

É relativamente fácil denotar que a exigência das redes de comunicação que suportam estes projetos será menor em condições de experimentação com poucos utilizadores, onde a interferência e o *overhead* são baixos, além de que muitas vezes não se faz uso de todas as aplicações que o projeto comporta. À medida que alargamos estas iniciativas à restante comunidade escolar surgem uma série de requisitos que devem ser alcançados de forma que a rede funcione com qualidade de serviço para todos os utilizadores a que este se destina.

O propósito da utilização da internet tem vindo a mudar e essa mudança tende a ser conduzida também para o ensino digital. Cada vez mais utilizamos aplicações que comportam vídeos síncronos de alta-definição, jogos online em tempo real, armazenamento em *cloud*, vídeo conferências, *Augmented Reality* (AR) e *Virtual Reality* (VR). Como tal, além do aumento exponencial da quantidade e tipo de utilizadores que acedem à internet com diferentes finalidades é necessário considerar a utilização de aplicações que requerem cada vez maior largura de banda e baixa latência.

Algumas particularidades importantes a considerar nos projetos relacionados com a digitalização do ensino são a existência de picos com elevado número de acessos simultâneos quando os utilizadores acedem aos conteúdos pedagógicos, aulas síncronas, utilizadores com diferentes equipamentos móveis e fixos, aplicações que exigem elevada largura de banda e baixa latência e uma grande probabilidade de escalar tanto em termos de utilizadores como de aplicações. Estas características mostram a importância de redes resilientes, que garantam o número e tipo de utilizadores e as necessidades aplicacionais.

Dado que a maior parte destas iniciativas fazem uso de dispositivos móveis, é necessário considerar uma rede de área local sem fios. No entanto a WLAN está diretamente relacionada com a rede cablada e com a rede de acesso à internet, estas devem ser revistas e/ou projetadas de forma a garantir os requisitos necessários para o bom funcionamento de toda a rede. É fulcral conhecer as infraestruturas físicas, as infraestruturas de rede, a quantidade de acessos simultâneos, o tipo de utilizadores e as suas aplicações de forma a podermos definir os requisitos de cobertura e capacidade. Para isso devemos ter em mente a necessidade de adoção de um processo de planeamento e projeto adequado de uma rede informática direcionado às necessidades específicas do projeto em questão.

A implementação de um projeto relacionado com a digitalização do ensino exige um correto planeamento para uma rede de comunicação que garanta qualidade de serviço e qualidade de utilização no acesso dos utilizadores a estes recursos digitais. Só assim será possível usufruir de um meio com condições ideais que favoreçam mais e novas formas de aprendizagem. Nestas redes de comunicação existem alguns requisitos fundamentais que precisam ser alcançados nomeadamente em termos de gestão, manutenção, segurança e desempenho.

A gestão e manutenção da rede são essenciais para aspetos operacionais na infraestrutura, resolução de problemas e atualizações.

A nível de segurança deverá ser garantida confidencialidade, autenticação, integridade, controlo de acesso e não repudição relativamente aos serviços identificados. Num ambiente de ensino que compreende utilizadores menores com idades variadas, deve ser reforçado o controlo de acesso a conteúdos indesejáveis ou inapropriados, bem como garantir a primeira linha de defesa para a internet de *software* maligno como *Malware*, *Ransomware* e *phishing*. A utilização combinada da *firewall* e VLANs será importante para criar restrições mais específicas por conteúdos adequados a idades, o que permite enquadrar melhor as regras de filtragem de tráfego aos utilizadores.

Embora a disponibilidade faça parte da segurança, esta é analisada de forma autónoma dada a sua relevância neste tipo de projetos, que necessitam de disponibilidade elevada, de forma a não comprometer o correto funcionamento das aulas. Estas redes são utilizadas exaustivamente e necessitam de uma disponibilidade elevada para garantir que as aulas funcionem sem interrupções. Esta disponibilidade pode ser garantida em termos de organização física e lógica da rede. A utilização de redundância entre os equipamentos ativos que compõem a rede será essencial para garantir caminhos múltiplos aquando da falha num equipamento ou ligação.

Além disso é importante garantir desempenho e confiabilidade nestas redes, será crucial o correto dimensionamento da rede com ferramentas de QoS da *firewall* para dar prioridade ao tráfego das aulas face ao restante tráfego.

É essencial que estas redes sejam escaláveis. Devem ser considerados aspetos que tenham a ver com as características e requisitos de adaptação da infraestrutura a novas utilizações e de garantia de longevidade. É importante garantir a capacidade de evolução e crescimento da infraestrutura, acompanhando o crescimento do projeto bem como o aumento dos utilizadores e das necessidades aplicacionais. A rede deverá garantir interoperabilidade de forma a ser compatível com sistemas de comunicação já implementados e dos eventuais requisitos de migração desses sistemas para o sistema de comunicações a instalar.

Com isto é possível verificar que os projetos relacionados com a digitalização do ensino estão diretamente dependentes das redes de comunicação de dados, uma vez que estes projetos precisam de redes resilientes que garantam o número de acessos simultâneos, os requisitos aplicacionais e foco nas questões de gestão, manutenção, segurança e desempenho.

2.4 Conclusão

Este capítulo teve como principal objetivo realizar uma primeira abordagem ao padrão IEEE 802.11 em que se baseia o Wi-Fi. Desta forma foi realizado um estudo à sua evolução ao longo dos anos em termos das suas principais características nomeadamente a data de lançamento, banda de frequência, largura de banda, *data rate* máximo, número de antenas utilizadas, modelação e técnica de transmissão. Foi também feita uma análise comparativa entre as propriedades qualitativas nas várias normas do padrão nomeadamente o *Beamforming*, MIMO, TWT, BSS *coloring*, cobertura, capacidade e interferência. Foi possível denotar que a tecnologia Wi-Fi evoluiu para conseguir garantir

as necessidades crescentes do maior número de utilizadores e acessos simultâneos, diferentes tipos de dispositivos e aplicações mais exigentes. Essa evolução passou por desenvolver mecanismos que garantam maior taxa de transferência dados, menor latência e eficiência de operação em ambientes densamente cobertos.

Ainda nesta parte inicial foram exploradas variáveis que estão diretamente relacionadas com o planeamento de uma WLAN por cobertura e capacidade, nomeadamente a potência de transmissão, célula do AP, taxas de dados e roaming. O Wi-Fi é uma tecnologia complexa que não é simplesmente de *Plug and play*. Exige estudo e planeamento para que a rede seja implementada corretamente e funcione conforme os requisitos necessários para cada cenário. Para implementar uma rede sem fios de forma eficaz há uma série de fatores a considerar. Hoje em dia, com a mudança no paradigma da utilização da internet combinada com a existência cada vez mais acentuada de dispositivos e acessos simultâneos bem como um leque de aplicações mais exigentes a nível de largura de banda e baixa latência obrigam a um planeamento não só por cobertura como também por capacidade. Como foi possível constatar, no planeamento por cobertura é importante ter em atenção a área de utilização a cobrir e a atenuação dos materiais que constituem as infraestruturas do edifício pois podem afetar a propagação do sinal de rádio frequência emitido pelos APs. No planeamento de uma WLAN por capacidade é crucial ter em conta o tipo de utilizadores, as necessidades das aplicações e o número de acessos em simultâneo.

Na segunda parte deste capítulo foi realizada uma pesquisa sobre projetos relacionados com a digitalização do ensino a nível nacional e internacional. Verificou-se que existe muita literatura sobre projetos relacionados com a digitalização do ensino, mas numa abordagem mais educacional, no sentido em que, refere-se os equipamentos e aplicações utilizadas, destacam-se vantagens, desvantagens e desafios desta metodologia de aprendizagem no ensino, no entanto não se faz qualquer referência às redes de comunicação que os suportam. Algumas semelhanças encontradas nestes projetos no que toca a um grande número de acessos simultâneos, aulas síncronas, utilizadores com dispositivos móveis e fixos, aplicações que exigem elevada largura de banda e baixa latência, grande probabilidade de escalar em termos de utilizadores e de aplicações, mostram a importância de redes resilientes, que garantam o número e tipo de utilizadores, as necessidades aplicacionais, bem como especial atenção nos aspetos de gestão, manutenção, segurança e desempenho.

O desenvolvimento do capítulo do estado da arte foi importante no sentido em que permitiu reter os conceitos fundamentais da tecnologia Wi-Fi em termos de planeamento, explorar algumas características particulares nos projetos relacionados com a digitalização do ensino e perceber a influência das redes de comunicação em projetos desta natureza. Considera-se ter sido um ponto de partida essencial para que possa ser feito um bom planeamento para um projeto relacionado com a digitalização do ensino num ambiente escolar.

3 Caraterização do problema

Este capítulo tem como objetivo apresentar o problema em torno do desenvolvimento deste trabalho. Na secção 3.1 é caraterizado o Projeto dos Manuais Digitais nas escolas da Região Autónoma da Madeira (RAM). Seguidamente, na secção 3.2 mediante a utilização de uma escola como modelo, é feita uma descrição da sua infraestrutura física e dos espaços que a constituem, são apresentadas as caraterísticas da rede cablada, Wi-Fi e acesso à internet, é caraterizado o número, o tipo de utilizadores e as suas aplicações, identificadas as condicionantes do projeto, os problemas existentes e caraterizadas as necessidades.

3.1 Projeto dos Manuais Digitais

O Projeto dos Manuais Digitais surge de uma parceria da Secretaria Regional da Educação (SRE)¹³ com a Porto Editora¹⁴ através do serviço Escola Virtual 360¹⁵ e com o apoio da Samsung¹⁶. Esta solução nasce com o propósito de adicionar novas formas de aprendizagem ao método de ensino convencional e trata-se de uma solução educativa de cariz tecnológico criada para as escolas do 2.º e 3º Ciclo na RAM em que os alunos fazem uso dos manuais escolares e de uma plataforma de ensino-aprendizagem em *tablets* [36]. A Figura 15 mostra-nos a evolução da quantidade de alunos envolvidos neste projeto ao longo do seu ciclo de vida.

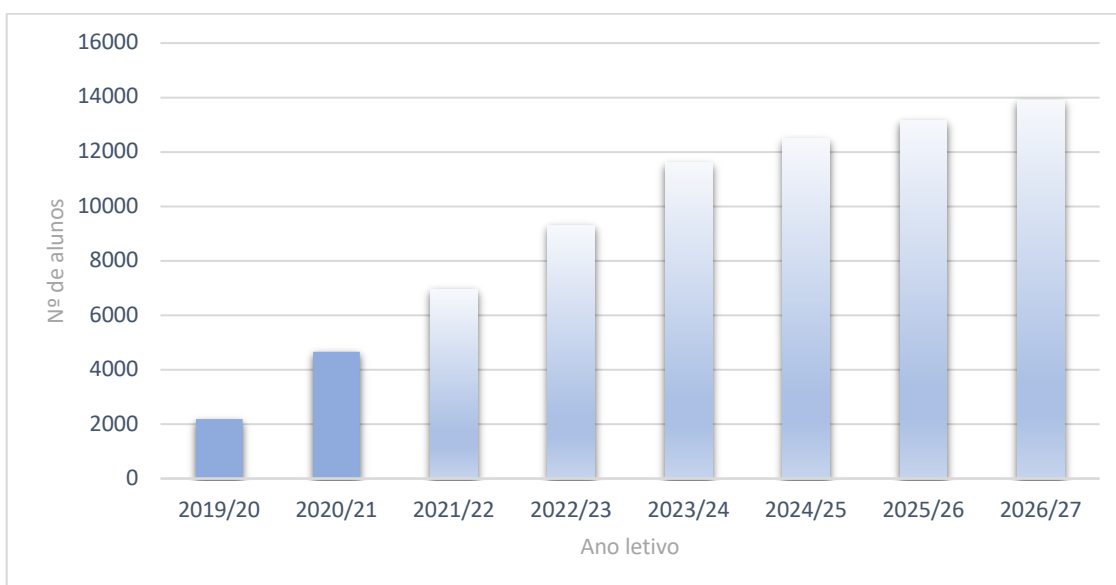


Figura 15 – Evolução do número de alunos por ano letivo no Projeto dos Manuais Digitais nas escolas da RAM

¹³ Secretaria Regional da Educação - <https://www.madeira.gov.pt/sre>

¹⁴ Porto Editora - <https://www.portoeditora.pt/>

¹⁵ Escola Virtual 360 - <https://www.escolavirtual.pt/Instituicoes/ev360.htm>

¹⁶ Samsung - <https://www.samsung.com/pt/business/insights/case-study/manuais-digitais-na-madeira/>

O Projeto dos Manuais Digitais teve início no ano letivo 2019/20 com uma experiência piloto numa turma de 5º ano, onde era demonstrada a utilização da plataforma Escola Virtual. No decorrer do mesmo ano foi implementado em todas as turmas de 5º ano das escolas públicas da RAM. Nesse ano contou com 25 escolas, 112 turmas e 2187 alunos. Já no ano letivo 2020/21 foi alargado ao 6º ano bem como a 18 turmas do 7º ano. Atualmente conta com 26 escolas, 244 turmas perfazendo 4658 alunos [36]. O projeto tem como objetivo escalar gradualmente até ao 12º ano no decorrer dos próximos anos letivos. Segundo os dados do Place¹⁷ publicados no presente ano letivo 2020/21, quando o projeto alcançar o 12º ano prevê-se que 13903 alunos e 732 turmas estejam integradas no mesmo. Dado que é admitido um *tablet* por aluno, a quantidade de *tablets* considerada será sempre igual ao número de alunos que participa ativamente no projeto.

O Projeto dos Manuais Digitais é uma solução que inclui manuais digitais com inúmeros conteúdos multimédia através da plataforma Escola Virtual. A Escola virtual é uma plataforma de *e-learning* criada pela Porto Editora em 2005. Esta é uma solução educativa direcionada a todas as instituições de ensino que lecionam desde o pré-escolar até ao 12.º ano do ensino regular ou profissional, autarquias, bibliotecas e centros de estudo. A Escola Virtual dá acesso a uma série de recursos educativos, entre eles: aulas interativas, testes interativos, dicionários online, análise de desempenho e jogos didáticos com atribuição de pontos. Os alunos que fazem parte da comunidade a que se aplica este projeto têm acesso aos manuais digitais de todas as disciplinas e a um conjunto de funcionalidades e recursos interativos do serviço da Escola Virtual. Os docentes têm acesso aos conteúdos de todas as disciplinas do pré-escolar ao 12.º ano disponíveis na Escola Virtual bem como ferramentas de ensino colaborativo, monitorização de desempenho e gestão do processo de aprendizagem. Além da Escola virtual, o Projeto Manuais Digitais comporta um conjunto de recursos específicos para a RAM, dos quais fazem parte análises sobre personalidades literárias, lendas/mitos da região e a geografia do arquipélago.

A Samsung surge como parceiro crítico para a escolha dos equipamentos a serem utilizados pelos alunos para acesso aos conteúdos digitais. Como os utilizadores finais atuais são alunos com idades compreendidas entre os 10 e os 13 anos era necessária a escolha de um *tablet* resistente, com durabilidade, seguro e que oferecesse uma caneta digital com precisão de escrita, dentro do orçamento praticável. No primeiro ano deste projeto foram utilizados os *tablets Samsung Tab A com S Pen*¹⁸ de 16 GB de armazenamento. De forma restringir o *tablet* ao uso destinado foi utilizado o *Software Knox Manager*¹⁹ que permite a gestão remota dos dispositivos, inibindo acesso a conteúdos desadequados e a instalação de aplicações não autorizadas, bem como diferentes modos de funcionamento dentro e fora das redes escolares. Uma das maiores dificuldades encontradas com o modelo de *tablet* escolhido no primeiro ano do projeto teve a ver com reduzida capacidade de armazenamento, como tal para o ano letivo 2020/21 foi proposto o *tablet Samsung Galaxy Tab s6 lite*²⁰ com *S Pen* de 64GB.

¹⁷ Place - <https://place.madeira.gov.pt/>

¹⁸ Samsung Tab A com S Pen - <https://www.samsung.com/us/mobile/tablets/galaxy-tab-a/samsung-galaxy-tab-a-10-1-with-s-pen-16gb--wi-fi--black-sm-p580nzkar/>

¹⁹ Knox Manager - <https://www.samsung.com/us/business/solutions/services/mobility-software/knox-manage/>

²⁰ Samsung Galaxy Tab S6 com S Pen - <https://www.samsung.com/pt/tablets/galaxy-tab-s/galaxy-tab-s6-lite-10-4-inch-gray-64gb-wi-fi-sm-p610nzaatph/>

No âmbito deste projeto, foi desenvolvido um exaustivo plano de formação para todos os docentes do 5º, 6º e 7º ano, de todas as 26 escolas públicas da RAM e a equipa de formação da Escola Virtual esteve envolvida no desenho das ações de formação bem como na capacitação dos formadores das equipas da SRE [36]. Os docentes envolvidos foram alvo de ações que visaram dotá-los das competências necessárias para explorar os manuais e os recursos educativos digitais. Além disso, foram também realizadas sessões práticas sobre a utilização dos *tablets* e disponibilizados tutoriais online que exemplificam como realizar as tarefas mais comuns na Escola Virtual e que podem ser facilmente acedidos tanto pelos docentes como pelos alunos.

O Projeto dos Manuais digitais é uma solução criada à medida que inclui: manuais digitais com inúmeros conteúdos multimédia, recursos específicos para a RAM, apoio especializado para implementação do projeto, equipamentos e formação. A expansão do Projeto dos Manuais Digitais para os restantes anos de ensino leva a uma necessidade de revisão das suas infraestruturas atuais bem como a implementação de novas redes de comunicação de forma a garantir qualidade de serviço e de utilização no acesso dos equipamentos aos conteúdos pedagógicos e a outros recursos didáticos.

Seguidamente é apresentada na secção 3.2 a Escola Básica e Secundária Gonçalves Zarco que foi utilizada como modelo neste estudo.

3.2 Escola Básica e Secundária Gonçalves Zarco

Na redação desta tese foi utilizada como modelo a Escola Básica e Secundária Gonçalves Zarco por ter uma comunidade escolar elevada, pelo tipo de construção característico, por ser um edifício antigo e possuir uma arquitetura comum às restantes escolas. Esta escola leciona 2º e 3º ciclos do ensino básico e do ensino secundário.

A Escola Básica e Secundária Gonçalves Zarco²¹ foi inaugurada em 9 de setembro de 1968. Inicialmente funcionou como anexo da escola Industrial e Comercial do Funchal e do Liceu Nacional do Funchal, atualmente designadas de escola Secundária Francisco Franco e escola Jaime Moniz, respetivamente. Em 1973 transitou para o edifício anexo à igreja do Colégio, situada na Praça do Município, em 1985 mudou para a Quinta da Ribeira, na Calçada da Cabouqueira, por fim, em 1989 instalou-se em edifício próprio, local que permanece até hoje, no sítio dos Barreiros caminho da Fé, 9000-645 Funchal. Na Figura 16 é apresentada a vista satélite da sua localização atual.

²¹ Escola Básica e Secundária Gonçalves Zarco - <https://ebsgzarco.pt/>

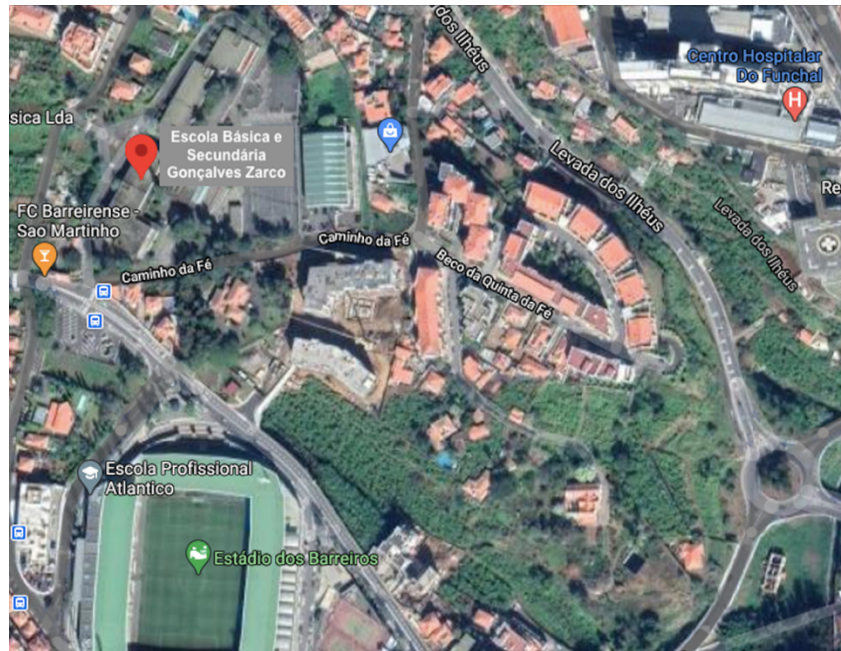


Figura 16 - Localização satélite da Escola Básica e Secundária Gonçalves Zarco

De seguida, na secção 3.2.1 é efetuada uma breve descrição das suas infraestruturas físicas. Na secção 3.2.2 são caracterizados os tipos de utilizadores bem como as suas aplicações. Posteriormente, na secção 3.2.3 é feita uma descrição das infraestruturas de rede. Na secção 3.2.4 são identificados os condicionantes do projeto. Por último, na secção 3.2.5 é realizada uma análise ao problema que condiciona o bom funcionamento do Projeto dos Manuais Digitais e são caracterizadas as necessidades nesta escola tendo em conta o levantamento de requisitos e a análise das infraestruturas atuais.

3.2.1 Infraestrutura física

Esta escola utiliza maioritariamente como material de construção o concreto armado ou betão armado que é um sistema estrutural da construção civil que se tornou um dos mais importantes elementos da arquitetura do século XX. Uma das particularidades na construção deste edifício são as paredes atípicas com aproximadamente 20cm de espessura deste material. Seguidamente é apresentado na Figura 17 a infraestrutura física da escola.



Figura 17 - Infraestrutura física da Escola Básica e Secundária Gonçalves Zarco

O edifício da escola é composto essencialmente por 3 blocos: bloco A com 3 pisos, bloco B com 2 pisos e bloco C com 3 pisos. A escola tem a maioria das salas dispostas de forma adjacente num corredor, em que o outro lado do corredor segue geralmente a mesma ordem de disposição. A Figura 18 ilustra a disposição típica das salas e espaços comuns bem como as dimensões e as lotações máximas utilizando como exemplo o piso 1 do bloco A1. É importante referir que o bloco B e C são semelhantes e serão descritos mais em detalhe no Anexo A - Disposição e descrição dos espaços.

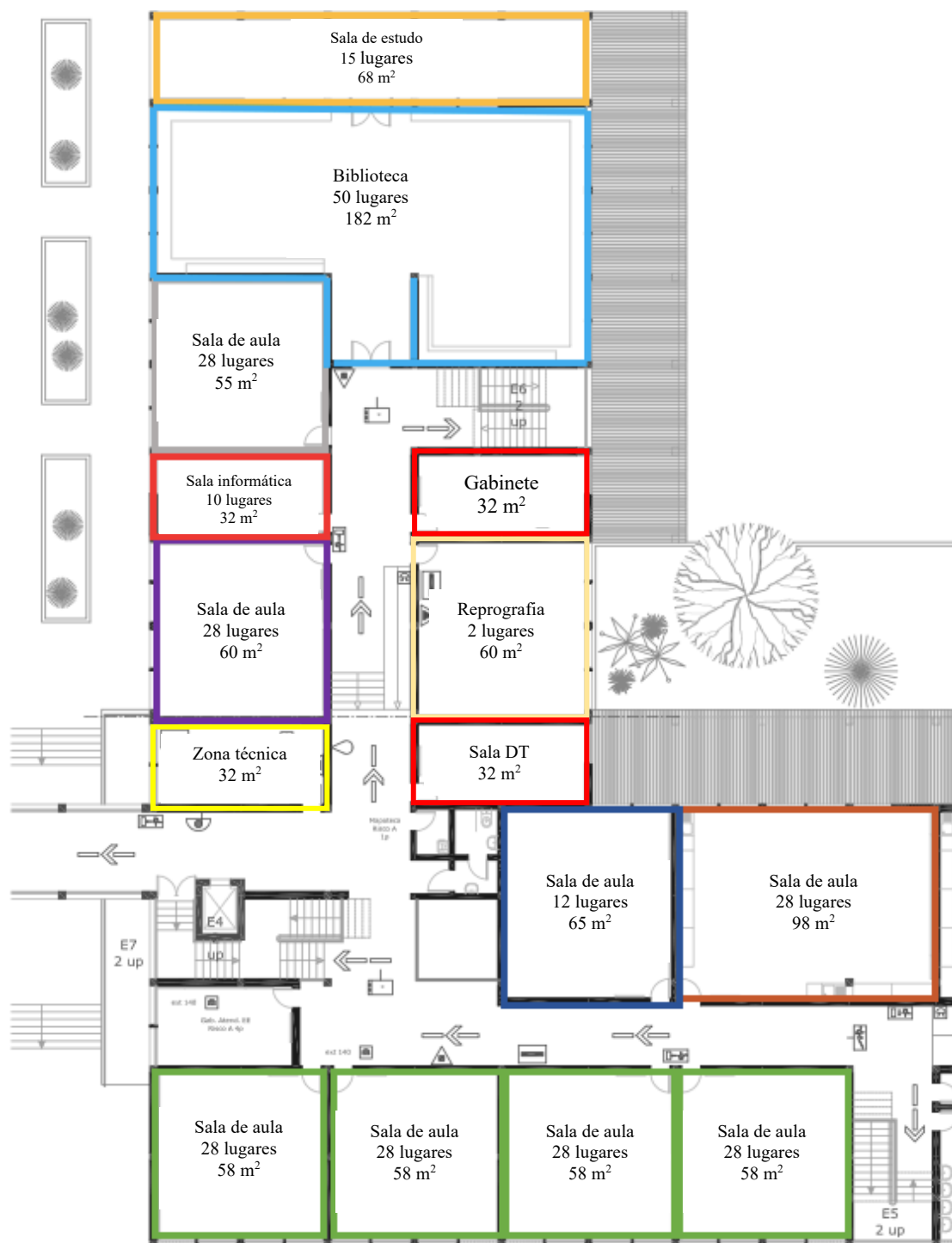


Figura 18 – Descrição e disposição dos espaços no piso 1 bloco A1

A nível de salas e espaços comuns a Escola Básica e Secundária Gonçalves Zarco é composta por:

- Sala de sessões com 100 lugares
- Cantina com 100 lugares
- Bar com 80 lugares
- Sala dos professores com 80 lugares
- Biblioteca com 50 lugares
- 40 salas de aula com 28 lugares
- 3 salas de aula com 20 lugares
- 4 salas de aula com 15 lugares
- Sala de estudo com 15 lugares
- 11 gabinetes de 2 a 15 lugares
- 3 salas aula com 10 lugares

Depois de descrita a infraestrutura física da escola que será importante para o planeamento por cobertura, serão agora caraterizados os utilizadores, as aplicações e os tipos de dispositivos presentes na rede Wi-Fi do Projeto dos Manuais Digitais.

3.2.2 Utilizadores e aplicações

De acordo com o Place, no presente ano letivo 2020/21 a comunidade escolar desta instituição de ensino conta com 930 alunos, 237 docentes e 47 turmas. Dentro desta comunidade, 7 turmas de 5º ano com 160 alunos e 6 turmas de 6º ano com 122 alunos participam ativamente no Projeto dos Manuais Digitais. Cada turma é constituída com número de alunos a variar entre 22 a 27. Embora este ano o projeto se limite à comunidade escolar do 5º e 6º ano, tem como objetivo escalar até ao 12º no decorrer dos próximos anos letivos. Como tal é importante ter uma previsão do crescimento do número de alunos a que o projeto se destina. Seguidamente é apresentado na Tabela 5 o número de alunos bem como a quantidade de turmas por ano de ensino no presente ano letivo 2020/21.

Tabela 5 - Descrição do número de alunos e de turmas por ano de ensino no ano letivo 2020/21 na Escola Básica e Secundária Gonçalves Zarco

Ano ensino	Número de alunos	Número de turmas
5º	160	7
6º	122	6
7º	126	6
8º	134	7
9º	155	7
10º	112	6
11º	48	4
12º	73	4

Dado que as turmas são mistas e não há um horário de manhã e outro da tarde, a quantidade de acessos simultâneos à rede deverá ser estimada tendo em conta o número máximo de utilizadores nomeadamente os alunos e docentes bem como a quantidade de dispositivos por utilizador. De forma a termos uma ideia da evolução dos utilizadores ao longo dos anos é ilustrado na Figura 19 uma previsão do número de alunos que vão ser incluídos no projeto à medida que este atinge os restantes anos de ensino.

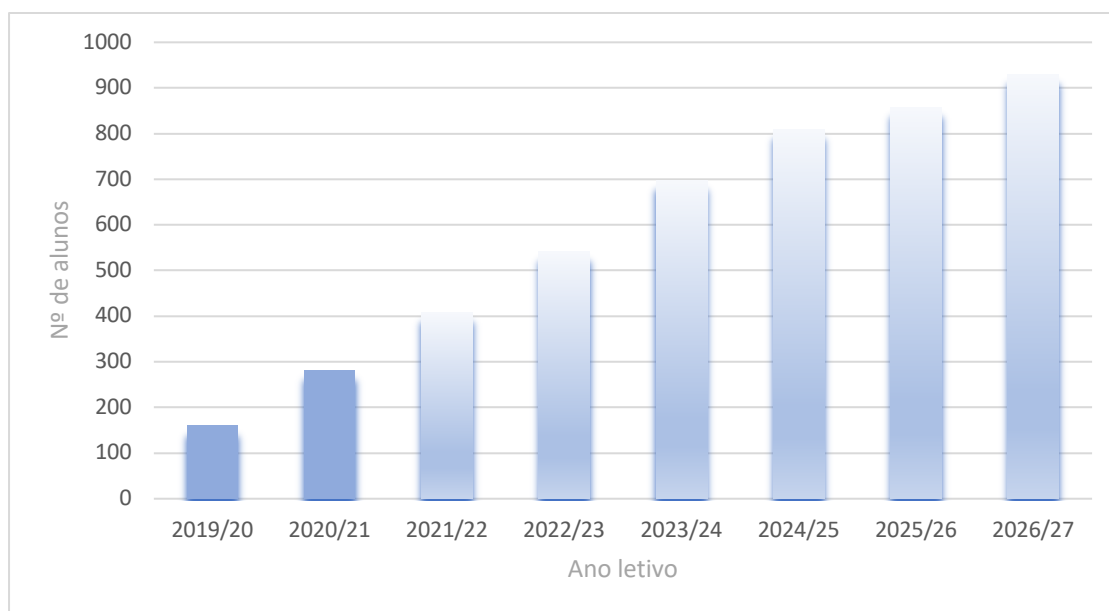


Figura 19 – Evolução do número de alunos por ano letivo no Projeto dos Manuais Digitais na Escola Básica e Secundária Gonçalves Zarco

Como já foi referido anteriormente, o Projeto dos Manuais Digitais teve início no ano letivo 2019/2020 e começou por se integrar apenas nos alunos de 5º ano. Como é possível verificar pela Figura 19, na escola Gonçalves Zarco essa integração inicial representava uma comunidade escolar de 160 alunos distribuídos em 7 turmas. Já no presente ano letivo 2020/21 conta com 13 turmas e 282 alunos dado que são considerados os alunos de 5º e 6º ano. No limite, quando o projeto atingir o 12º ano prevê-se a existência de 47 turmas, 930 alunos e 237 docentes, perfazendo 1167 utilizadores.

São vários os tipos de dispositivos que utilizam a rede Wi-Fi nomeadamente *tablets*, quadros interativos, *laptops* e *desktops*. Seguidamente é apresentada na Tabela 6 os tipos de dispositivos, sistema operativo que possuem bem como os padrões IEEE 802.11 suportados.

Tabela 6 - Dispositivos utilizados na rede Wi-Fi

Tipo de dispositivo	Sistema operativo	Padrões IEEE 802.11 suportados
<i>Tablet</i>	<i>Android</i>	802.11 a/b/g/n/ac
Quadro interativo	<i>Android</i>	
<i>Laptop/Desktop</i>	<i>Windows, MacOS e Linux</i>	
<i>Smartphones</i>	<i>Android, IOS</i>	

Os dispositivos alvo de utilização no Projeto dos Manuais Digitais são os *tablets*, os quadros interativos e eventualmente o *laptop/desktop* do docente. O modelo de *tablets* utilizado no ano letivo 2019/20 foi o *Samsung Galaxy tab A 10.1*. Já no presente ano letivo 2020/21 estão a ser utilizados os *tablets Samsung Galaxy tab S6 lite*. Para lecionar as aulas são também utilizados os quadros interativos *Promethean*. Para além destes dispositivos existem *smartphones* de marca e sistema operativo variado que ocasionalmente acedem à rede fora do âmbito do projeto, no entanto o tráfego destes dispositivos não corresponde a um uso intensivo da internet e não deverá estar a ser utilizado durante a aula. No decorrer das aulas assume-se que são utilizados com uso

intensivo os *tablets*, quadros interativos e *laptops/desktops* dos docentes que lecionam as aulas. No entanto é importante ter em conta a possibilidade de existir 2 dispositivos por utilizador, o que duplica o número de acessos simultâneos à rede. Desta forma é possível estimar que no limite, quando o projeto atingir o 12.º ano, esta escola poderá contar com aproximadamente 2334 acessos simultâneos à rede.

A rede sem fios que suporta o Projeto dos Manuais Digitais tem como principal objetivo o acesso digital dos *tablets* a conteúdo pedagógico. A sua utilização compreende atividades em plataformas como:

- Escola Virtual²² - Plataforma para acesso à versão digital dos Manuais com **conteúdo de áudio, imagens e vídeos assíncronos** em que são realizadas aulas/testes interativos, preparação para os exames, análise de desempenho, diagnósticos de aprendizagem, relatórios de progresso e dicionários.
- *Khan Academy*²³ – Essencialmente **vídeos assíncronos** de matemática, medicina, economia, física, química, biologia, ciência da computação, entre outras matérias.
- *Quizzes* da porto editora²⁴ - Questões com **imagens interativas**.
- *Kahoot*²⁵ - Plataforma de aprendizagem baseada em jogos. Pode ser acedido através de um navegador ou app. É proporcionado um **ambiente de jogo em tempo real de respostas a quizzes com imagens e vídeos assíncronos** onde os utilizadores conectam-se usando um PIN gerado e mostrado num ecrã comum. Os alunos utilizam o *tablet* para responder a perguntas criadas pelo professor.
- *Quizizz*²⁶ - Aplicação de aprendizagem com o mesmo conceito do *kahoot* de respostas a **quizzes com imagens e vídeos assíncronos**. No entanto o *kahoot* é usado apenas para testes, questionários e discussões em tempo real na sala de aula. O *Quizizz* tem 2 modos de aplicação distintos. Um é fazer uma avaliação formativa em tempo real na sala de aula, o outro é o trabalho extracurricular dado pelo professor ao aluno.
- *Web browsing* – **Pesquisa de informação num navegador web**.
- Vídeos online - Tipicamente **vídeos síncronos e assíncronos** no *youtube* e plataformas semelhantes com vídeos de **alta-definição (HD/4K)**.
- Partilha de ficheiros – **Partilha de ficheiros** através de aplicações de armazenamento na *cloud* como *Google drive* e *One drive*.

Através da caracterização das aplicações realizada anteriormente é possível verificar que algumas enquadram-se no *web browsing*, outras no conteúdo de áudio, conteúdo de imagem, vídeo síncrono/assíncrono e partilha de ficheiros.

Tendo em conta o tipo de aplicações utilizadas no Projeto dos Manuais Digitais é importante estimar as suas necessidades em termos de largura de banda. Na Tabela 7 é apresentada uma média de largura de banda típica consumida por cada tipo de aplicação. É importante referir que estes valores podem variar dependendo do browser e do sistema operativo utilizado.

²² Escola Virtual - <https://www.escolavirtual.pt/Produtos-Relacionados/manualdigital.htm>

²³ Khan Academy - <https://pt-pt.khanacademy.org/>

²⁴ Quizzes da porto editora - <https://www.portoeditora.pt/produtos/ficha/quiz-magico-5-capa-azul-/23065159>

²⁵ Kahoot - <https://kahoot.com/what-is-kahoot/>

²⁶ Quizizz - <https://quizizz.com/>

Tabela 7 - Largura de banda típica necessária por tipo de aplicação no Projeto dos Manuais Digitais [21]

Tipo de aplicação	Largura de banda
<i>Web Browsing</i>	500 Kbps – 1 Mbps
Conteúdo de áudio	100 Kbps – 1 Mbps
<i>Streaming</i> de vídeo	2 Mbps – 4 Mbps
Partilha de ficheiros	1 Mbps – 2 Mbps

Foi importante caracterizar a quantidade e tipo de utilizadores, os acessos simultâneos bem como a finalidade de utilização da rede em termos de aplicações e larguras de banda típicas necessárias. Esta caracterização será crucial para o planeamento da rede por capacidade.

De seguida descrevemos as infraestruturas de rede na Escola Básica e Secundária Gonçalves Zarco nomeadamente a rede de área local sem fios, a rede cablada e a rede de acesso à internet.

3.2.3 Infraestrutura de rede

O principal objetivo deste ponto é caracterizar e analisar as infraestruturas de rede atuais na Escola Básica e Secundária Gonçalves Zarco.

Inicialmente na secção 3.2.3.1 é caracterizada a rede de área local sem fios (sigla do inglês *Wireless Local Area Network*, WLAN) nomeadamente os tipos de equipamentos presentes na rede bem como a norma utilizada e a distribuição dos *Access Points* (APs) por piso. Seguidamente na 3.2.3.2 é apresentada a rede cablada com uma descrição do esquema geral da rede na escola, os tipos de equipamentos ativos/passivos presentes e a sua disposição atual. Por fim, na secção 3.2.3.3 é apresentada a rede de acesso à internet no que toca ao tipo de ligação, nível de assimetria e débito contratado.

3.2.3.1 Rede de área local sem fios

Atualmente a escola já possui uma WLAN com a tecnologia Wi-Fi composta por diferentes APs que operam em normas distintas, nomeadamente:

- 14 APs *Cisco Aironet 1100*²⁷ na norma IEEE 802.11g;
- 3 APs *Cisco Wap 571*²⁸ na norma IEEE 802.11n e na norma IEEE 802.11ac;
- 8 APs *Aruba 303 Series Wireless*²⁹ na norma IEEE 802.11n e na norma IEEE 802.11ac.

Os primeiros equipamentos da rede Wi-Fi foram os APs *Cisco Aironet 1100* instalados no ano 2006/2007. Os APs *Cisco Wap 571* foram introduzidos consoante necessidades de cobertura. Estes APs têm o *Service Set Identifier* (SSID) “ZarcoNet” e estão instalados

²⁷ AP Cisco Aironet 1100 -

https://www.cisco.com/c/dam/global/pt_br/assets/campanhas/lenovo/docs/Datasheet_Aironet1100.pdf

²⁸ AP Cisco WAP571 - <https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/wireless/small-business-500-series-wireless-access-points/datasheet-c78-736449.html>

²⁹ Aruba 303 series Wireless AP - https://www.arubanetworks.com/assets/ds/DS_AP303Series.pdf

maioritariamente nos corredores das salas de aula e na biblioteca. O primeiro propósito desta rede Wi-Fi foi para ser utilizada por laboratórios móveis de portáteis que eram fornecidos aos alunos para certas atividades didáticas em sala de aula. Esta rede é utilizada por toda a comunidade escolar para fins de *web browsing*, email, redes sociais e algum conteúdo de vídeo síncrono e assíncrono.

No ano letivo 2019/2020 foram instalados APs *Aruba 303 Series Wireless* para cobrir zonas dirigidas à utilização dos Manuais Digitais. Os equipamentos destinados a este projeto têm o propósito de cobrir 8 salas de aula onde são lecionados 5ºs anos nomeadamente as salas A1, A2, A3, A4, A5, B13, C3 e C4. Estes APs operam com o SSID “ManuaisDigitais” e estão instalados maioritariamente dentro das salas de aula. A escola conta atualmente com 8 APs *Aruba 303 Series Wireless* com o SSID ‘ManuaisDigitais’ e 17 APs Cisco com o SSID ‘ZarcoNet’. Seguidamente é apresentada na Tabela 8 a sua distribuição por piso(bloco) e é feita uma diferenciação da quantidade de APs referentes ao SSID ‘Manuais Digitais’ do SSID ‘ZarcoNet’.

Tabela 8 - Distribuição dos APs por piso(bloco)

Piso (bloco)	Nº APs (ManuaisDigitais + ZarcoNet)
1 (A)	17 (4+13)
1 (B)	2 (1+1)
0 (C)	7 (2+5)
Total	26

Para caracterizar a WLAN foi importante começar por identificar a quantidade de APs utilizados na escola, o seu modelo, a norma de operação, o *layout* atual no edifício e o propósito de utilização.

De forma a detalharmos a organização da WLAN seguidamente é apresentada a rede cablada que suporta os APs e a restante infraestrutura de rede.

3.2.3.2 Rede cablada

Como forma de ilustrar a organização geral da rede, é apresentado na Figura 20 o seu diagrama físico. Seguidamente é realizada uma descrição da organização da rede e o equipamento ativo/passivo presente na mesma.

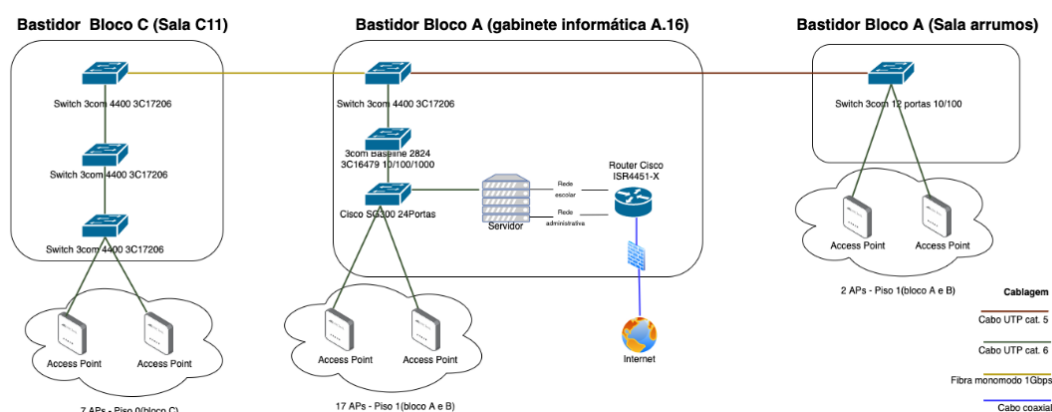


Figura 20 – Diagrama físico da rede na Escola Básica e Secundária Gonçalves Zarco

A escola conta atualmente com 3 bastidores, representados pelos círculos com bordas arredondadas na Figura 20. Dois dos bastidores encontram-se localizados no piso 1 do bloco A, um na sala de arrumos e outro no gabinete de informática A.16. O terceiro bastidor encontra-se no piso 1 do bloco C, na sala C11. O bastidor principal é o que está localizado no gabinete de informática A.16. Deste bastidor sai a ligação para a internet que passa pelo router Cisco ISR4451-X³⁰ e é filtrada por uma *firewall*. O servidor da escola tem 2 ligações ao router da Cisco, uma representa a rede escolar e outra a rede administrativa. Por sua vez o servidor liga a um *switch* Cisco SG300³¹ de 24 portas. São utilizados *patch cords* UTP cat.6 para conetar as portas *Gigabit ethernet* deste *switch* aos APs do bloco A e B. O *switch* Cisco SG300 está ligado a um *switch* 3com 4400 3C17206³² que faz a distribuição horizontal entre os *switchs* no piso 1, interliga ao *switch* 3com 4400 3C17206 do bastidor do bloco C através de fibra monomodo 1Gbps e ao *switch* 3com de 12 portas 10/100 Mbps da sala de arrumos do bloco A com cabo UTP cat.5. Os APs do bloco C estão ligados a um *switch* 3com 4400 3C17206 no bastidor do bloco C. O *switch* 3com de 12 portas 10/100 Mbps localizado na sala de arrumos do bloco A é utilizado para ligar um AP instalado no bloco A e outro no bloco B. A ligação dos *switches* aos APs é sempre feita mediante utilização de cabos UTP cat.6. Não existe um *switch* específico para os APs, os *switches* ligam tanto a APs como a tomadas de rede.

A rede da escola está dividida fisicamente em duas: a rede administrativa e a rede escolar. Na rede escolar insere-se toda a rede Wi-Fi e *ethernet* destinada a docentes e alunos desta instituição de ensino. Não existem VLANs embora os equipamentos ativos atuais permitam a sua criação.

A ligação da rede de área local (sigla do inglês *Local Area Network*, LAN) da escola à internet é descrita de seguida.

3.2.3.3 Rede de acesso à internet

A rede internet contratada chega ao edifício através de uma ligação em cabo coaxial, ligando-se a um router. O acesso à internet é feito mediante a ligação do router ao ISP da operadora da NOS Madeira. Todo o tráfego de e para o exterior é filtrado por uma *firewall* da SRE. A gestão da rede escolar é feita pelos técnicos da escola, já a gestão da *firewall* é feita pela SRE.

A Escola Básica e Secundária Gonçalves Zarco insere-se numa rede local com um número elevado de equipamentos informáticos, uma utilização elevada dos serviços internet e dos serviços alojados no *data center* do governo regional. Desta forma conta com uma ligação de assimetria 10:1 com um débito contratado de 1Gbps de download e 100Mbps de *upload*. A rede de acesso à internet da escola é utilizada tanto pela rede administrativa como pela rede escolar em que se insere a rede Wi-Fi que suporta o Projeto dos Manuais Digitais.

Terminada a caraterização da infraestrutura física, dos utilizadores, tipos de aplicações e descrita a rede de área local sem fios, a rede cablada e a rede de acesso à internet, iremos

³⁰ Router Cisco ISR4451-X - https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/routers/4000-series-integrated-services-routers-isr/data_sheet-c78-732542.html

³¹ Switch cisco SG300 - <https://dustinweb.azureedge.net/media/172070/sg300-52p.pdf>

³² switch 3com 4400 3C17206 - <http://www.telecomdatasheets.com/ddata/725.pdf>

agora identificar as condicionantes no Projeto dos Manuais Digitais, analisar alguns problemas que impactam o seu bom funcionamento e caracterizar as necessidades.

3.2.4 *Condicionantes do projeto*

As condicionantes de um projeto devem-se a um conjunto de fatores relacionados com a situação concreta em que o mesmo é implementado. Estas condicionantes normalmente são discutidas em diferentes vertentes de acordo com os fatores que as motivam.

A implementação do Projeto dos Manuais Digitais tem condicionantes temporais dada a existência de prazos rígidos para a finalização da sua implementação. O projeto tem obrigatoriamente que se encontrar operacional no início de cada ano letivo e como tal existe uma data-limite estabelecida à partida para que tudo se encontre operacional.

Além das condicionantes temporais, o projeto apresenta condicionantes operacionais no sentido em que a instalação das novas infraestruturas é condicionada pela necessidade de manter a escola em funcionamento com pouca perturbação. Dessa forma é importante definir planos de implementação que não coincidam com a data de exames, aulas presenciais ou qualquer outro tipo de atividades letivas em vigor.

Seguidamente passaremos à análise do problema e caracterização das necessidades.

3.2.5 *Análise do problema e caracterização das necessidades*

A análise do problema segue a organização que foi utilizada na caracterização do mesmo. Na secção 3.2.5.1 começamos pela análise dos problemas nas infraestruturas físicas da Escola Básica e Secundária Gonçalves Zarco, logo depois passamos aos seus utilizadores e aplicações. Por fim analisamos os problemas nas infraestruturas de rede nomeadamente no que toca à sua rede de área local sem fios, à rede cablada e à rede de acesso à internet. À medida que são analisados os problemas são identificadas perspetivas de evolução e algumas necessidades a nível de gestão, manutenção, segurança e desempenho. Por último, na secção 3.2.5.2 é feita uma observação comparativa da situação atual nas restantes escolas da RAM.

3.2.5.1 *Escola Básica e Secundária Gonçalves Zarco*

A observação feita às **infraestruturas físicas** do edifício permitiu verificar que o mesmo não foi pensado para ter redes Wi-Fi, não existe um planeamento arquitetónico para ter redes de dados. A escola possui paredes extremamente grossas em betão armado que não foram pensadas para as realidades tecnológicas atuais e dificultam a propagação do sinal RF. Esta escola foi construída numa altura em que não se utilizava esta forma de ensino e não seria muito provável vir a utilizar metodologias do género. Além disso, não existem zonas técnicas adequadas para construir redes de comunicação.

Os **utilizadores** da rede escolar são essencialmente os alunos e docentes que fazem uso da mesma para atividades pedagógicas de carácter digital. Atualmente a rede conta com 282 alunos dos quais fazem parte os alunos do 5º e 6º ano. No entanto é previsível o seu crescimento até ao 12º ano no decorrer dos próximos anos letivos, o que representa uma comunidade escolar de 930 alunos e 237 docentes. A possibilidade de utilização de 2 dispositivos por utilizador duplica o número de acessos simultâneos na rede para aproximadamente 2334. As **aplicações** utilizadas enquadram-se no *web browsing*,

conteúdo de áudio, conteúdo de imagem, vídeo síncrono/assíncrono e partilha de ficheiros. As aplicações síncronas que utilizam o vídeo de alta-definição são cada vez mais utilizadas, o requer alguma largura de banda e baixa latência que deverá ser considerada aquando do planeamento por capacidade. São vários os **dispositivos** que acedem a esta rede, entre eles: *tablets*, quadros interativos, *laptops*, *desktops* e *smartphones* que na grande maioria operam na norma IEEE 802.11ac, o que não vai dificultar o desempenho da rede neste aspeto.

A **rede de área local sem fios** foi crescendo conforme as necessidades e desde o seu primeiro propósito de utilização para laboratórios móveis os problemas de cobertura e capacidade estiveram presentes. Estas foram feitas de forma *ad-hoc* sem planeamento de médio-longo prazo do que era pretendido, chegando-se ao ponto de colocar um AP por sala. Nesta fase não sabemos se estamos numa situação de subdimensionamento ou sobredimensionamento. Atualmente a dificuldade da gestão da rede Wi-Fi surge por duas razões: pela necessidade de gestão de APs de marcas diferentes e por não existir uma controladora para gerir todos os tipos de APs, obrigando à gestão individual dos mesmos. É de realçar que a monitorização constante da rede Wi-Fi é essencial dado que o ambiente numa rede sem fios é suscetível de mudança contínua ao longo do tempo e carece de gestão para resolução de problemas.

Segundo as boas práticas de engenharia de redes é possível identificar alguns problemas de segurança na **rede cablada** atual da Escola Básica e Secundária Gonçalves Zarco. A rede escolar não possui a redundância necessária de equipamento para garantir a disponibilidade elevada que este tipo de rede necessita. Com a estrutura atual da rede, uma falha num *switch* poderá provocar a quebra em toda a rede Wi-Fi. Como tal é importante eliminar estes pontos de falhas únicos. Além disso não existe energia alternativa quando a fonte de alimentação de entrada ou a rede elétrica falham. A utilização de uma *Uninterruptible Power Supply* (UPS) seria importante para garantir a disponibilidade nestas situações bem como proteger os equipamentos de danos causados por cortes de energia inesperados e perturbações no fornecimento da energia elétrica.

A escola não possui uma rede estruturada, tem apenas alguns bastidores que foram adicionados conforme necessidade de crescimento da rede e sem planeamento prévio, a carência de pontos de rede nas salas/espacos comuns e a não utilização de *patch panels* para organização/identificação dos pontos de rede existentes são alguns dos problemas identificados na organização atual da rede. Além disso não se utiliza VLANs para a separação lógica das redes embora os equipamentos ativos existentes possibilitem a sua criação. A utilização de VLANs é relevante por questões organizacionais na medida em que garante a separação dos diversos departamentos na rede, por questões de segurança porque permite restringir o acesso a utilizadores de uma certa VLAN a servidores e por questões de segmentação de tráfego dado que alguns utilizadores necessitam da rede com mais regularidade.

Atualmente já existe uma *firewall* na rede escolar com um conjunto de funcionalidades adaptadas para o conteúdo genérico. Ainda assim, com a possível utilização combinada da *firewall* e VLANs poderíamos ter restrições mais específicas de conteúdos adequados às idades, o que permitia enquadrar melhor as regras de filtragem de tráfego aos utilizadores. A nível de sistemas de segurança, existe o *knox* da Samsung que permite condicionar os acessos dos *tablets* a conteúdos indesejáveis ou inapropriados assim como localizar o paradeiro dos mesmos através de georreferenciação. No entanto este sistema

limita-se aos *tablets* na rede escolar. Numa rede onde a maior parte dos seus utilizadores são móveis é importante proteger os acessos à internet independentemente do local de acesso, seja da escola, de casa bem como outros pontos públicos fora da escola. No Projeto dos Manuais Digitais é crucial garantir a primeira linha de defesa para a internet a conteúdos indesejáveis e a outras ameaças de *software* maligno como *malware*, *ransomware* e *phishing*.

A rede da escola está separada fisicamente em duas, a rede administrativa e a rede escolar da qual faz parte a rede Wi-Fi. Tanto a rede administrativa como a rede escolar estão sobre o mesmo **acesso internet** partilhado o que pode provocar alguma sobrecarga no acesso à internet dado o elevado número de acessos simultâneos. Verificou-se que não existem mecanismos de QoS para garantir que as aulas não estão comprometidas pela utilização de outras atividades. Por exemplo uma aula síncrona pode ser afetada por um *backup* que comprometa a ligação. As redes apenas estão divididas fisicamente, mas não existe segmentação de tráfego. É necessário um dimensionamento da rede e ferramentas de QoS da *firewall* para dar prioridade ao tráfego das aulas face ao restante tráfego administrativo. Além disso, uma ligação estável e com qualidade de serviço é essencial para o bom funcionamento das aulas e consequentemente do Projeto dos Manuais Digitais, isto porque os *tablets* são utilizados como ferramenta de trabalho indispensável no acesso a conteúdos didáticos de carácter digital.

Como já foi referido nos parágrafos anteriores, as infraestruturas de rede atuais encontram-se desatualizadas, não estando assim preparadas para suportar convenientemente o número de utilizadores e aplicações atuais bem como o previsível crescimento, o que tem suscitado diversas reclamações por parte dos seus utilizadores, essencialmente pela velocidade indesejável e instabilidade na ligação.

3.2.5.2 Restantes escolas públicas da Região Autónoma da Madeira

A realização do estudo da rede de uma escola era importante para entender as necessidades e os problemas de integração num projeto relacionado com a digitalização do ensino. Ainda assim foram feitas visitas às restantes escolas da RAM que nos permitiram identificar problemas comuns à escola utilizada como modelo na redação desta tese.

A Escola Básica e Secundária Gonçalves Zarco foi escolhida como modelo por apresentar uma comunidade escolar elevada, pelo tipo de construção característico, por ser um edifício antigo e possuir uma arquitetura comum às restantes escolas. Apesar de existir escolas de maior e de menor dimensão, algumas delas com redes mais bem estruturadas, nota-se que muitos dos problemas identificados são habituais.

Grande parte das escolas da RAM foram construídas aproximadamente na data de construção da escola Gonçalves Zarco e algumas até antes, o que faz com que muitos dos problemas das infraestruturas físicas descritos anteriormente se repliquem.

As infraestruturas de rede que existem nas escolas apenas são semelhantes em termos de equipamento ativo/passivo mas diferem na sua organização interna. Foi possível identificar escolas que têm melhores infraestruturas de rede e que estão mais bem organizadas tanto a nível físico como a nível lógico, fazendo-se notar boas práticas na implementação da rede que garantem maior disponibilidade e redundância através da

utilização de caminhos múltiplos nas ligações entre os equipamentos ativos bem como a separação lógica da rede administrativa, rede escolar e da rede Wi-Fi.

A principal rede de acesso à internet nas escolas utiliza a mesma solução tecnológica de banda larga baseada em rede de cabo coaxial que é uma rede partilhada e não tem uma garantia de tráfego dedicado. O débito contratado varia consoante o número de dispositivos e nível de utilização dos serviços de internet bem como dos serviços alojados nos *data centers* do Governo Regional. Como tal, dependendo da dimensão da rede de área local da escola, o débito varia. Existem escolas com uma ligação à internet de 100Mbps/10Mbps, outras com 200Mbps/20Mbps, 400Mbps/40Mbps e 1Gbps/100Mbps. No entanto há escolas que contrataram um serviço de acesso à internet em fibra dedicado e desta forma possuem 2 acessos à internet, um para a rede escolar e administrativa e outro para a rede Wi-Fi do Projeto dos Manuais Digitais.

Como é expectável, o número de utilizadores difere de escola para escola mas a densidade e as aplicações utilizadas são idênticas.

Um aspeto importante a realçar é a formação técnica das pessoas que vão fazer a gestão e manutenção da rede, é essencial adotar procedimentos de gestão e manutenção das redes seguindo as boas práticas e normas idênticas entre escolas. Verificou-se que os técnicos e os responsáveis têm carência de formação nas redes e que a necessidade de ter de dominar várias marcas e fabricantes torna ainda este problema mais profundo. Além disso não é espectável que os técnicos tenham conhecimento nem recursos para fazer *surveys* e análise dos mesmos.

3.3 Conclusão

Este capítulo teve como principal objetivo identificar e contextualizar o problema em torno das infraestruturas que suportam o Projeto dos Manuais Digitais utilizando como modelo a Escola Básica e Secundária Gonçalves Zarco.

Inicialmente foi descrita a infraestrutura física do edifício nomeadamente o número de espaços e respetiva lotação de forma a termos uma ideia inicial da dimensão da área a cobrir e dos materiais que podem afetar a propagação do sinal RF. Foi importante analisar a morfologia característica deste edifício por ter paredes extremamente largas de betão armado que possivelmente vão dificultar a propagação do sinal RF. Foram também caracterizados o número, tipo de utilizadores e respetivas aplicações para que seja possível fazer um planeamento adequado por capacidade e que garanta os requisitos dos utilizadores. Posteriormente foram apresentadas as características principais da rede cablada, Wi-Fi e acesso à internet. Com isto foi possível compreender como a rede se encontra organizada, que tipo de equipamento ativo/passivo possuem, identificar as condicionantes do projeto, realçar alguns problemas que impactam atualmente o bom funcionamento do Projeto dos Manuais Digitais bem como definir requisitos e necessidades.

A escrita deste capítulo nestes moldes permitiu uma correta abordagem ao tema, foi adequada para caracterizar devidamente o problema e ajudou a organizar as ideias de como podíamos abordar todos os componentes em torno do mesmo, identificá-los e contextualizar.

4 Processo de Análise, Planeamento e Implementação

Este capítulo tem como objetivo a descrição do processo de análise, planeamento e implementação das redes que vão suportar o Projeto dos Manuais Digitais com foco na rede de área local sem fios (sigla do inglês *Wireless Local Area Network*, WLAN). Dada a necessidade de implementar redes de comunicação que suportem adequadamente o Projeto dos Manuais Digitais em todas as escolas é importante definir um processo completo, claro e preciso do procedimento a adotar de forma a que este possa ser replicado em todas as escolas.

4.1 Descrição do processo

Conhecendo a realidade das escolas foi adotado um processo de planeamento habitual no desenvolvimento dos projetos de sistemas de informação em que há o levantamento e análise de requisitos, a especificação, a implementação e os testes, contudo, adaptado a um projeto de engenharia de redes informáticas [7]. Neste tipo de projetos devem existir algumas alterações às fases clássicas que são utilizadas em projetos de sistemas de informação. Num projeto de engenharia de redes informáticas é necessário que a fase de especificação da solução seja antecedida de um dimensionamento com o objetivo de calcular as capacidades necessárias para suportar os utilizadores e as aplicações.

Algumas linhas gerais do processo que aqui foi definido foram lineadas logo, outras adaptadas à realidade das escolas. O envolvimento no planeamento das redes para o Projeto dos Manuais Digitais de uma forma *ad hoc*, no sentido em que não existia um processo a seguir, permitiu identificar algumas fases que seriam cruciais para analisar, planear e implementar estas redes. Desta forma foi criado um processo composto essencialmente por 6 fases. Na primeira fase, designada de problema e requisitos é realizada uma caracterização do problema e de todo o cenário em torno do mesmo bem como são identificadas as condicionantes e os requisitos do projeto. A segunda fase denominada de validação da rede surge com o objetivo de verificar o estado da rede atual. Na terceira fase, intitulada de projeto da rede, são dimensionadas as ligações agregadas, a rede Wi-Fi assim como é definida a solução a implementar e especificados todos os componentes da infraestrutura. Na quarta fase, plano de implementação, são realizados os orçamentos e planos de trabalho com os cronogramas dos mesmos. Na quinta fase, acompanhamento da implementação, é dado apoio técnico às equipas que realizam a instalação no terreno mediante o esclarecimento de dúvidas e fiscalização das tarefas a serem realizadas. Por último surge a sexta fase, validação da implementação, em que é verificado se a rede está a funcionar adequadamente conforme foi planeada. Todas as tarefas definidas no processo são da responsabilidade de alguém na escola, seja o técnico de informática, o professor de TIC, o responsável pelo Projeto dos Manuais Digitais ou um membro do conselho executivo. No entanto pode ser solicitado apoio a entidades externas em algumas fases que sejam mais técnicas ou mesmo quando são necessários planos de implementação para obter toda a informação.

Como forma de ilustrar o processo de análise, planeamento e implementação que foi descrito anteriormente de forma breve é ilustrado na Figura 21 um fluxograma com os vários *inputs* e *outputs* de cada fase. Neste fluxograma são representados os *inputs* à esquerda através de retângulos arredondados com linhas tracejadas verdes. Os *inputs* indicam as ferramentas e/ou recursos necessários à implementação de cada fase. As fases propriamente ditas são ilustradas no centro do fluxograma mediante retângulos com

linhas sólidas azuis. Cada fase é composta por um conjunto de tarefas e ações essenciais à concretização da mesma. Os *outputs* mostram os resultados esperados no final de cada fase em forma de documento e são apresentados na parte direita do fluxograma mediante retângulos arredondados com linhas tracejadas vermelhas.

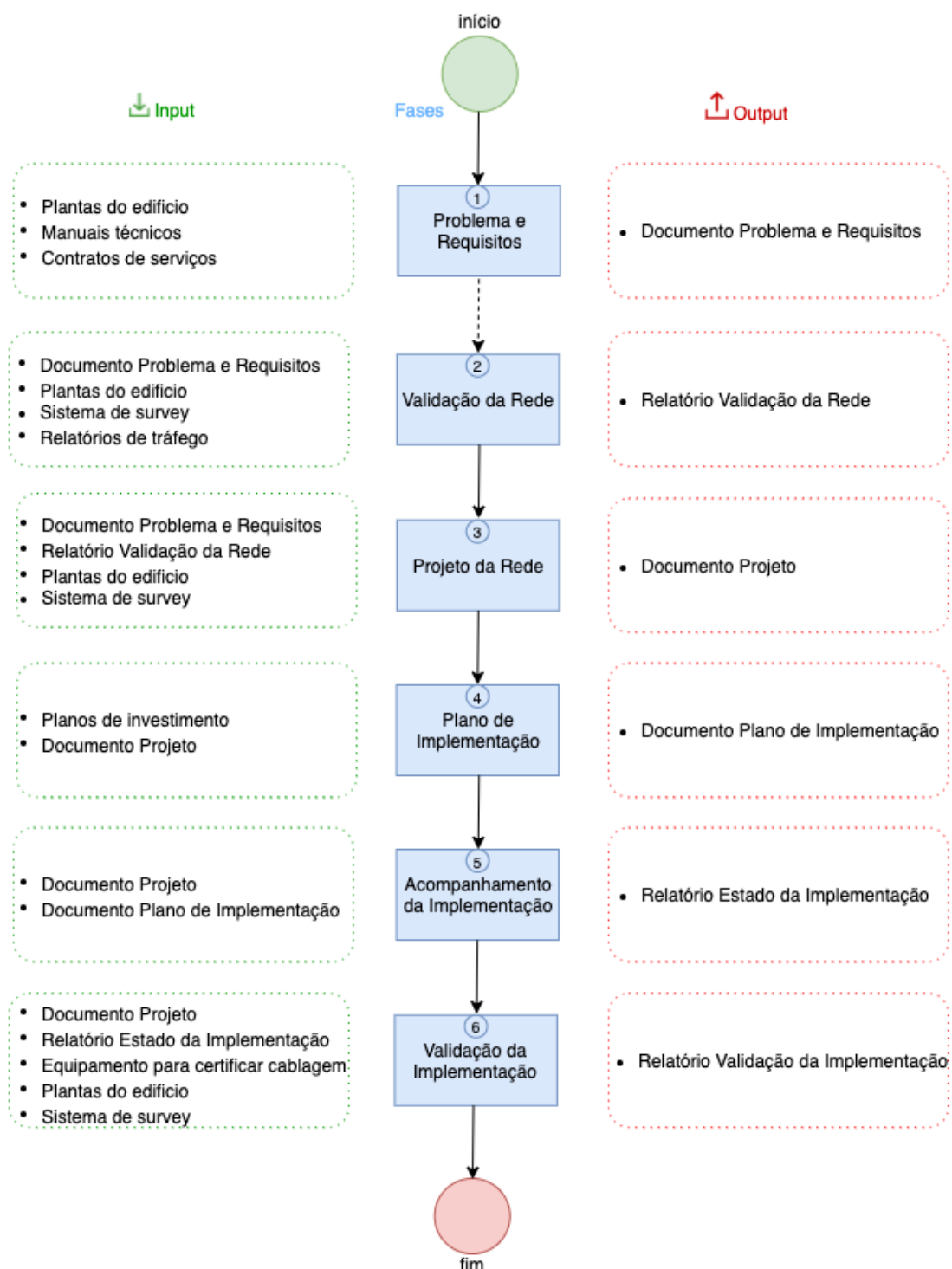


Figura 21 - Fluxograma do processo de Análise, Planeamento e Implementação das redes para o Projeto dos Manuais Digitais

Como cada fase engloba várias tarefas e ações, seguidamente é apresentado de forma resumida na Tabela 9 cada uma das fases com todas as suas tarefas e ações associadas.

Capítulo 4: Processo de Análise, Planeamento e Implementação

Tabela 9 - Resumo das fases e tarefas envolvidas na análise, planeamento e implementação das redes para o Projeto dos Manuais Digitais

Fase	Tarefa	Descrição
Problema e Requisitos	Caraterização da infraestrutura física	Caraterização da morfologia do edifício, dimensão e disposição dos espaços a cobrir
	Caraterização dos utilizadores e aplicações	Caraterização do número de utilizadores, tipos de dispositivos presentes na rede, número máximo de acessos simultâneos e largura de banda requerida para as aplicações utilizadas
	Caraterização da rede Wi-Fi	Caraterização dos APs utilizados, o seu <i>layout</i> no ambiente e norma de operação
	Caraterização da rede cablada	Caraterização do equipamento ativo/passivo presente na rede e a sua organização física e lógica
	Caraterização da rede de acesso à internet	Caraterização do tipo de ligação, nível de assimetria e débito contratado
	Identificação das condicionantes	Identificação das principais condicionantes temporais e operacionais do projeto
	Identificação dos problemas	Identificação dos problemas nos componentes analisados e as reclamações dos utilizadores
	Definição dos requisitos	Definição dos requisitos de cobertura e capacidade e das necessidades de gestão, manutenção, segurança e desempenho
Validação da Rede	Validação da rede Wi-Fi	Realização de <i>surveys</i> no modo passivo/ativo e análise dos resultados
	Validação da rede cablada	Análise de tráfego, realização de testes de velocidade e estabilidade à rede, análise dos resultados
Projeto da Rede	Dimensionamento das ligações	Dimensionamento do débito de ligação agregada para a LAN e acesso à internet
	Dimensionamento da rede Wi-Fi	Elaborar um modelo preditivo para dimensionar a quantidade de APs e a sua localização. Complementar o modelo preditivo com um <i>survey</i> ativo.
	Especificação	Especificação de todas as componentes da infraestrutura (equipamento passivo, equipamento ativo, planos de gestão, manutenção, segurança e desempenho)
	Desenho da solução	Identificação dos componentes a instalar, elaboração do diagrama da rede e traçados em planta dos sistemas de cablagem
Plano de Implementação	Orçamento	Definição do orçamento do equipamento ativo, passivo e serviços necessários
	Plano de trabalhos a realizar	Definição do plano dos trabalhos a realizar
	Elaboração do cronograma	Criação de um cronograma de trabalhos
Acompanhamento da Implementação	Apoio à implementação	Diálogo com a equipa de implementação para esclarecimento de dúvidas, eventual redefinição do cronograma de trabalhos
	Fiscalização	Fiscalização da instalação para validar as especificações dos componentes a instalar
Validação da Implementação	Validação da rede Wi-Fi implementada	Realização de <i>surveys</i> passivos e ativos após a rede estar implementada
	Testes	Execução de testes de velocidade e estabilidade à rede
	Certificação	Certificação dos sistemas de cablagem

Nas secções seguintes serão analisadas mais detalhadamente as diversas fases descritas anteriormente, sendo apresentados os seus objetivos, as ferramentas e recursos necessários à sua implementação, uma descrição mais pormenorizada de cada tarefa e os resultados pretendidos de cada fase. Na secção 4.1.1 é apresentada a fase Problema e Requisitos, na 4.1.2 a Validação da Rede, na 4.1.3 o Projeto de Rede, na 4.1.4 o Plano de Implementação, na 4.1.5 o Acompanhamento da Implementação e na 4.1.6 a Validação da Implementação.

4.1.1 Problema e Requisitos

A primeira fase do processo tem como finalidade conhecer todo o contexto de rede escolar relacionado com esta área, nomeadamente: as infraestruturas físicas, os utilizadores, as aplicações e as infraestruturas de rede. Com isso é possível compreender que tipo de infraestrutura física a escola possui, entender como a rede se encontra organizada a nível físico e lógico, que tipo de equipamentos ativos e passivos utiliza, identificar as condicionantes na implementação das redes, identificar problemas bem como definir requisitos e necessidades para uma rede que garanta o bom funcionamento do Projeto dos Manuais Digitais.

Para concretizar esta fase são necessárias as plantas do edifício com a identificação de cada espaço em termos funcionais (sala de aula, zona técnica, cantina), lotação e área de cobertura de forma a identificar e caracterizar os locais necessários a abranger pela infraestrutura. Além das plantas de arquitetura dos edifícios poderão ser úteis manuais técnicos das redes já instaladas para permitir obter uma descrição física da infraestrutura em termos da rede cablada e da rede elétrica bem como contratos de serviços de internet com operadores para sabermos o tipo de ligação, nível de assimetria e débito contratado da rede de acesso à internet. Esta caracterização pode ser complementada através de conversas com os intervenientes no projeto, que podem ajudar a responder a algumas dúvidas que os documentos possam levantar.

A realização desta fase envolve uma série de tarefas, nomeadamente:

- Caracterização da infraestrutura física
- Caracterização dos utilizadores e aplicações
- Caracterização da rede Wi-Fi
- Caracterização da rede cablada
- Caracterização da rede de acesso à internet
- Identificação das condicionantes
- Identificação dos problemas
- Definição dos requisitos e das necessidades

De forma a realizar adequadamente estas tarefas devem ser planeadas e efetuadas deslocações às escolas para permitir um diálogo com os técnicos de informática, com o coordenador do Projeto dos Manuais Digitais e com o professor de tecnologias de informação e comunicação (TIC). O diálogo com os intervenientes no projeto em complemento com as plantas da organização permitem descrever a infraestrutura física do edifício nomeadamente a nível dos materiais de construção, número de espaços, disposição dos espaços, funcionalidade e respetiva lotação de forma a termos uma ideia inicial da dimensão da área a cobrir e dos materiais que podem afetar a propagação do sinal RF no ambiente. Nesta fase devem também ser caracterizados os utilizadores, que tipo de dispositivos utilizam e respetivas aplicações. Esta caracterização passa pelo

levantamento do número de utilizadores nomeadamente alunos e docentes bem como a quantidade de dispositivos por utilizador de forma a verificar o máximo de acessos em simultâneo na rede. A nível das aplicações deverá ser feito um levantamento das aplicações utilizadas e estimar a largura de banda típica necessária por cada aplicação. Além disso é importante realizar uma caracterização da rede Wi-Fi, da rede cablada e da rede de acesso à internet. Em termos da rede Wi-Fi deverá ser realizado um levantamento dos equipamentos que estão presentes na rede atualmente, o seu *layout* atual, a forma como estão distribuídos no edifício e a norma em que operam atualmente. A caracterização da rede cablada envolve a descrição completa da rede a nível de equipamento ativo, equipamento passivo e respetiva organização a nível físico e lógico mediante a descrição e elaboração do esquema geral da rede. Em termos da rede de acesso à internet será importante descrever o tipo de ligação, nível de assimetria e débito contratado. Caracterizados os utilizadores, as aplicações, os componentes da infraestrutura física e de rede, deverão ser identificadas as condicionantes temporais e operacionais do projeto, os problemas e as principais reclamações dos utilizadores com a rede atual. Por fim devem ser identificados os requisitos de cobertura e capacidade bem como as necessidades da rede em termos de gestão, manutenção, segurança e desempenho.

Após a elaboração desta fase obtemos um documento designado de Problema e Requisitos com os seguintes tópicos:

- Infraestrutura física: morfologia do edifício, dimensão e disposição dos espaços a cobrir
- Utilizadores e aplicações: número de utilizadores, previsão de evolução, tipos de dispositivos presentes na rede, número máximo de acessos simultâneos, largura de banda requerida para as aplicações utilizadas
- Infraestruturas de rede
 - Rede Wi-Fi: modelos de APs presentes na rede, norma e *layout* utilizado
 - Rede cablada: equipamento ativo/passivo e a sua organização física e lógica
 - Diagrama da rede de forma a representar visualmente os componentes que a constituem e a sua organização
 - Rede de acesso à internet: tipo de ligação, nível de assimetria e débito contratado
- Condicionantes: condicionantes temporais e operacionais do projeto
- Problema e requisitos
 - Problemas: identificar os problemas nos componentes analisados e as principais reclamações dos utilizadores.
 - Requisitos:
 - Requisitos de cobertura que são obtidos com a caracterização da infraestrutura física
 - Requisitos de capacidade determinados através da caracterização dos utilizadores e das suas aplicações
 - Necessidades de gestão, manutenção, segurança e desempenho da rede

No Anexo I.1 - Documento Problema e Requisitos é apresentado um *template* que pode ser utilizado para auxiliar a elaboração do documento esperado no final desta fase.

Esta fase inicial do processo de análise, planeamento e implementação é importante para entender o cenário, caracterizar a rede, identificar condicionantes e problemas assim como definir requisitos para as redes do Projeto dos Manuais Digitais.

Terminada a descrição da fase problema e requisitos, passamos à fase de Validação da Rede.

4.1.2 Validação da Rede

Esta etapa é realizada quando já existe uma rede implementada e tem como principal objetivo verificar a viabilidade atual da mesma através da medição de parâmetros críticos que definem a sua qualidade. Antes de realizar o planeamento e projeto de uma nova rede é fundamental entender o estado da rede atual e identificar eventuais problemas para que estes não condicionem o funcionamento da nova rede. Numa rede sem fios é necessário ter especial atenção à variabilidade na construção dos edifícios pois estes podem afetar a propagação do sinal RF e conseqüentemente uma degradação da qualidade de ligação dos utilizadores. É fundamental fazer uma validação inicial para confirmar a correta definição do *layout* dos APs no ambiente e com a análise a alguns parâmetros verificar se existem problemas com a rede Wi-Fi atual. Já na rede cablada será importante analisar o tráfego, perceber os picos de utilização e realizar testes de velocidade e estabilidade para verificar o estado da rede em termos de velocidade efetiva, qualidade da ligação e estabilidade.

Para a realização da validação à rede Wi-Fi necessitamos de um sistema de *survey*, nomeadamente um equipamento portátil e uma ferramenta de *software* que permita medir, validar, otimizar e solucionar problemas numa WLAN. O objetivo é realizar medições do sinal RF em todo o espaço livre utilizável. Na validação do estado da rede cablada é importante ter relatórios de tráfego de forma a verificar ao detalhe o tráfego na rede, analisar que utilizadores, aplicações e protocolos estão a consumir que quantidade de largura de banda. Isto vai permitir posteriormente definir políticas de QoS e assegurar a largura de banda necessária para aplicações críticas ao projeto.

Esta fase envolve as seguintes tarefas:

- Validação da rede Wi-Fi
- Validação da rede cablada

A validação do estado da rede Wi-Fi atual envolve a realização de *surveys* no modo passivo e ativo às salas e espaços comuns alvos de utilização do Projeto dos Manuais Digitais. A realização de um *pré-survey* nesta fase inicial é parte fulcral para verificar o estado da rede a nível de cobertura e capacidade bem como identificar eventuais problemas antes de projetar uma nova WLAN.

Será importante verificarmos se estamos numa situação de subdimensionamento ou sobredimensionamento mediante a realização de alguns testes de validação do tamanho da célula dos APs. O objetivo é verificar se o *layout* dos APs atuais está bem definido e as suas células estão corretamente espaçadas para provocar um roaming limpo. A execução desta tarefa poderá levar a alterações no *layout* atual dos APs. Este *survey* inicial consiste em efetuar medições ao sinal RF emitido por um certo SSID através da realização de um percurso dentro da área utilizada. Após a realização do *survey* obtemos uma série de *heatmaps* de vários parâmetros que definem a qualidade de uma rede Wi-Fi como o *Received Signal Strength indication* (RSSI), *Signal Noise Ratio* (SNR), *throughput* e *datarate*. De grosso modo o RSSI permite determinar a qualidade com que

um dispositivo pode receber sinais de um AP, o SNR indica a diferença entre o sinal Wi-Fi e o nível de ruído no ambiente, o *throughput* é a taxa de transferência efetiva do sistema, enquanto o *data rate* mostra-nos a velocidade máxima teórica da rede baseada no padrão IEEE 802.11 suportado pelo equipamento instalado. Os *heatmaps* resultantes do *survey* devem ser observados como forma de análise aos *surveys* realizados.

Como já foi visto anteriormente, a validação à WLAN envolve um *survey* nas áreas utilizadas pelo Projeto dos Manuais Digitais. Já a validação da rede cablada implica ter tráfego de *download*, *upload* e tabelas com registos médios importantes. O que é crítico para o planeamento deste projeto é ter o tráfego para perceber os picos de utilização, a segmentação do tráfego entre *switches* seria importante, mas não é fundamental neste cenário. O mais importante é caracterizar a rede de forma agregada, o tráfego dos routers e da *firewall* e o nível de ocupação da rede. Estes dados podem ser obtidos através de relatórios que possam existir ou mediante a instalação de uma estação de monitorização na escola para tirar dados durante um certo período de tempo. Os dados obtidos podem ser complementados através de testes contínuos de velocidade e estabilidade pela medição de parâmetros como *download*, *upload* e latência.

No final da realização desta fase vamos obter o relatório de Validação da Rede com:

- Validação da rede Wi-Fi
 - Análise do RSSI
 - Análise SNR
 - Análise *Throughput* e *data rate*
 - Análise dos problemas na rede
- Validação da rede cablada
 - Registo de medições de parâmetros da rede cablada
- Posição atual dos APs na planta e em que norma operam

No caso da análise à rede Wi-Fi deve ser tido em conta parâmetros como o RSSI, SNR, *throughput* e *data rate*. Nesta análise poderão ser identificados eventuais problemas relacionados com o RSSI, SNR, *Round Trip Time* (RTT), *Loss* e sobreposição de canais. Na análise à rede cablada é importante ter registos de medições dos valores do *download*, *upload* e latência a várias horas do dia, com diferente número de utilizadores. Este registo pode ser simplesmente uma tabela com estes dados de forma a verificar a velocidade, a qualidade da ligação e a estabilidade na rede.

No Anexo I.2 – Relatório Validação da Rede é apresentado um *template* que auxilia a elaboração deste relatório. O relatório de Validação da Rede obtido nesta fase vai ser importante para caracterizar o estado atual da rede Wi-Fi bem como da rede cablada e os resultados aqui obtidos serão úteis para a fase de Projeto da Rede no sentido em que, se houver problemas, estão identificados e a solução deverá ser incluída no projeto da rede a implementar.

Finalizada a análise ao estado atual da rede e identificados os eventuais problemas, seguimos para a fase de Projeto da Rede.

4.1.3 Projeto da Rede

Esta fase tem como principal objetivo a definição completa da solução a implementar através do dimensionamento do débito da ligação agregada, do dimensionamento da rede Wi-Fi e da especificação de todos os componentes da infraestrutura nomeadamente o equipamento ativo e passivo bem como os planos de gestão, manutenção, segurança e desempenho.

Os *inputs* desta fase englobam os resultados das tarefas anteriores nomeadamente o documento Problema e Requisitos bem como o relatório de Validação da Rede. Relativamente ao documento Problema e Requisitos será fundamental ter em conta os requisitos de cobertura e capacidade no que toca à caracterização dos utilizadores, das aplicações e dos espaços a cobrir de forma que possa ser realizado o dimensionamento do débito da ligação agregada e o dimensionamento da rede Wi-Fi. Além disso será importante para esta fase considerar as necessidades de segurança, de gestão e manutenção como também as condicionantes do projeto identificadas no documento Problema e Requisitos. Quanto ao relatório de *survey* será importante reter o estado da rede atual e eventuais problemas a corrigir, cuja solução deverá integrar no desenho da solução final do projeto. Além dos documentos das etapas anteriores, para o projeto da rede Wi-Fi, necessitamos das plantas do edifício, de um portátil e de uma ferramenta de *software* que permita projetar e validar uma WLAN utilizando um modelo preditivo.

A fase de Projeto da Rede compreende as seguintes tarefas:

- Dimensionamento das ligações agregadas
- Dimensionamento da rede Wi-Fi
- Especificação de todos os componentes da infraestrutura de rede
- Desenho da solução

Como forma de estimar as necessidades dos débitos das ligações para suportar todos os utilizadores e fluxos de todas as aplicações que a rede tem à sua disposição deverá ser realizado um dimensionamento do débito das ligações agregadas da LAN e do acesso à internet na qual resultam tabelas com dimensionamento de débito. Este dimensionamento é calculado tendo em conta o somatório do débito total por aplicação que é definido considerando o débito nominal e débito de exceção de cada aplicação, o nº de fluxos montante, nº de fluxos jusante e o fator de simultaneidade.

Nesta fase é também dimensionada a rede Wi-Fi com a definição do *layout* dos APs no ambiente através de um *survey* preditivo recorrendo a uma ferramenta de *software*. Com recurso a um modelo preditivo e cálculos teóricos são estimadas as melhores posições para os APs tendo em conta os requisitos de cobertura e capacidade necessários. Deste *survey* resultam *heatmaps* que analisam variáveis críticas da qualidade da rede Wi-Fi com o *layout* dos APs definido no cenário de implementação. Este *survey* preditivo deve idealmente ser verificado presencialmente com um *survey* no modo ativo no ambiente real de implementação, recorrendo a um AP de teste instalado provisoriamente na suposta posição final e realizando testes de medição do tamanho da célula do AP de maneira a validar o correto *layout* dos APs no ambiente.

Após o dimensionamento do débito de ligação agregada e da rede Wi-Fi são especificadas todas as componentes da infraestrutura tendo em conta os objetivos do projeto. É realizada uma identificação genérica das principais opções relativas ao equipamento

ativo, equipamento passivo bem como aspetos de gestão, manutenção, segurança e disponibilidade. Por fim é desenhada a solução através da elaboração do diagrama da rede e traçados em planta dos sistemas de cablagem.

Terminada a fase de Projeto da Rede obtemos o documento Projeto com:

- Descrição do ambiente de projeto
 - Breve descrição do problema em que se insere o projeto
- Objetivos do projeto:
 - Caracterização dos requisitos de cobertura e capacidade
 - Identificação das perspetivas de evolução
 - Caracterização das necessidades de gestão, manutenção, segurança e desempenho
 - Identificação das condicionantes
- Especificações
 - Especificação dos equipamentos passivos
 - Especificação dos equipamentos ativos
 - Planos de gestão, manutenção, segurança e desempenho
- Desenho da solução: Tabela com medições e especificações de quantidades dos vários componentes a instalar, diagrama da rede, plantas do edifício com a definição do *layout* dos novos APs no ambiente, traçados em planta da cablagem e identificação do equipamento ativo.

No Anexo I.3 - Documento Projeto é apresentado um *template* que auxilia a criação do referido documento.

A fase de Projeto da Rede é crítica e fundamental para o projeto, não só no momento de planeamento da rede, mas também para manter um registo de manutenção e futuras necessidades de documentação. Depois de definirmos adequadamente a solução do projeto de rede através da especificação de todos os componentes da infraestrutura e do desenho da solução passamos agora à definição do plano de implementação.

4.1.4 Plano de Implementação

O plano de implementação tem como principal objetivo definir os planos de orçamentação e reestruturação consoante os requisitos e condicionantes que foram levantados durante todo o processo de planeamento, mediante a capacidade de investimento e dos recursos humanos disponíveis.

Esta fase tem como *inputs* os planos de investimento disponíveis e o documento Projeto com a especificação da solução e de todos os componentes que a infraestrutura vai necessitar. A implementação desta fase obriga que a definição do projeto de rede esteja bem estabelecida no documento Projeto. Nesta fase deve existir à priori uma noção do orçamento ou dos planos de investimento em tecnologias de informação e comunicação (TIC). Devemos ter os orçamentos das áreas tecnológicas, o valor do investimento que está a ser planeado bem como outras verbas que possam existir. Os planos de investimento disponíveis vão condicionar diretamente a definição do orçamento para o projeto final e poderá levar à necessidade de reestruturação da solução de forma a acomodar o orçamento disponível.

Nesta fase valorizamos a solução do projeto de rede mediante a realização de um orçamento do equipamento ativo e passivo necessário bem como dos serviços para a respetiva implementação. De forma a elaborar a rede projetada é necessário fazer o orçamento para o número de *switches*, de APs, da cablagem e dos serviços relacionados. Após a aprovação do orçamento existe a necessidade de realizar as encomendas aos fornecedores para aquisição dos equipamentos. Além disso é importante ter em conta as condicionantes do projeto, visto que o mesmo tem que estar funcional no início de cada ano letivo e não deve coincidir com atividades letivas em funcionamento. Devido aos fatores mencionados anteriormente é essencial definir as equipas, elaborar um cronograma e estabelecer contactos com as equipas envolvidas para alinhar o plano de trabalhos a realizar.

Com a elaboração desta fase obtemos o documento Plano de Implementação que contém:

- Orçamento para a rede
- Plano detalhado de trabalhos a realizar
- Definição do cronograma de trabalhos

No Anexo I.4 - Documento Plano de Implementação é disponibilizado um *template* que auxilia a elaboração do documento pretendido no final desta fase.

Depois do Plano de Implementação, procede-se a instalação da solução do projeto da rede final. Esta fase normalmente compreende um conjunto de atividades de acompanhamento ao projeto.

4.1.5 Acompanhamento da Implementação

A fase de Acompanhamento da Implementação tem como principal objetivo garantir que a implementação se desenrola conforme foi projetada através do esclarecimento de opções técnicas de apoio à instalação caso seja necessário. Para realização do acompanhamento da implementação precisamos do documento Projeto e do Plano de Implementação de forma a ter sempre presente os detalhes da solução a implementar e o cronograma de trabalhos.

As tarefas realizadas nesta fase são:

- Apoio à implementação do projeto
- Fiscalização da implementação

O apoio à implementação compreende ações como o diálogo contínuo com a equipa de implementação para esclarecimento de dúvidas, saber o ponto de situação da instalação e a eventual redefinição do cronograma de trabalhos. As tarefas realizadas na implementação normalmente são feitas por equipas diferentes, o que requer uma coordenação entre as mesmas e por vezes poderá levar à redefinição do cronograma de trabalhos. A outra tarefa desta fase passa pela fiscalização da instalação para garantir que as especificações dos componentes a instalar são cumpridas e que os prazos são seguidos conforme delineados.

A elaboração desta fase poderá levar à criação de um relatório informal de orientação à equipa de projeto com:

- Ponto de situação da instalação na escola
- Dificuldades pontuais
- Cronograma de trabalhos atualizado

No Anexo I.5 - Relatório Estado de Implementação é disponibilizado um *template* que auxilia a elaboração do documento pretendido no final desta fase.

Terminado o acompanhamento da implementação, passamos à fase de Validação da Rede implementada.

4.1.6 Validação da Implementação

Esta etapa surge como necessidade de validação da rede após a mesma ser implementada. O principal objetivo desta fase é verificar se a rede se encontra a funcionar de forma adequada e se garante os requisitos de cobertura e capacidade que foram definidos inicialmente. Para a realização desta fase é necessário o relatório Estado da Implementação para validar alguma alteração que tenha surgido face à implementação prevista e o documento Projeto de forma a ter sempre presente todos os detalhes da solução desenhada. Além disso, tal como na fase de validação inicial da rede Wi-Fi necessitamos das plantas do edifício e de um sistema de *survey* que pode ser composto por um portátil e uma ferramenta de *software* que permita medir, validar, otimizar e solucionar problemas numa WLAN. Para verificarmos a conformidade da instalação da cablagem devem ser feitas certificações seguindo um conjunto de normas internacionais com equipamento específico para o efeito.

Esta fase compreende as seguintes tarefas:

- Validação da rede Wi-Fi
- Testes
- Certificação

Nesta fase são realizados *surveys* no modo ativo e passivo em todas as salas e espaços comuns que foram instalados novos APs, recorrendo a uma ferramenta de *software*. Estes *surveys* devem ser posteriormente analisados no que toca aos parâmetros que definem a qualidade de uma rede Wi-Fi e comparados com o *survey* realizado inicialmente. Para validar os sistemas de cablagem são realizados testes comumente designados por certificação suportados por normas internacionais. À semelhança do que foi realizado na fase de validação inicial, além dos *surveys* devemos realizar testes de velocidade e de estabilidade da rede para avaliar parâmetros como *download*, *upload*, latência, com vários equipamentos, em vários locais, com diferente número de utilizadores e a várias horas do dia.

Após terminada esta etapa obtemos um relatório de Validação da Implementação com:

- Análise a variáveis como RSSI, SNR, *Throughput*, *data rate*
- Testes de medição de parâmetros da rede cablada
- Identificação de problemas na rede final
- Relatórios de certificação

No Anexo I.2 – Relatório Validação da Rede é apresentado um *template* para o relatório de Validação da Rede que pode ser utilizado tanto nesta fase como na fase de Validação da Rede atual. Da atividade de validação da implementação podem resultar correções ou alterações na instalação.

Terminada a verificação do estado da rede implementada segue-se o início da sua fase operacional que requer uma monitorização constante à rede. O ambiente numa rede Wi-

Fi muda constantemente, surgem novos dispositivos, podem aparecer interferências, problemas e falhas internas.

4.2 Conclusão

Este capítulo apresentou um processo para a análise, planeamento e implementação das redes que vão suportar o Projeto dos Manuais Digitais nas escolas da RAM com foco na rede de área local sem fios. A metodologia utilizada baseia-se num conjunto de atividades que são comuns nos projetos de sistemas de informação, mas neste caso foi direcionada a um projeto de engenharia de redes informáticas. O processo foi definido de forma a tentar ser preciso, claro e completo nos pontos fundamentais ao planeamento destas redes, focado na avaliação das capacidades necessárias ao suporte dos utilizadores, aplicações e nas questões de gestão, manutenção, segurança e desempenho. Este processo foi criado tendo em conta a realidade das escolas escolhendo as tarefas essenciais e algumas opcionais para que possa ser facilmente adotado por qualquer escola.

O processo começa pela fase designada Problema e Requisitos. Nesta fase, com recurso às plantas do edifício, aos manuais técnicos e aos contratos de serviços são caracterizadas as infraestruturas físicas, as infraestruturas de rede, os utilizadores e as aplicações. São aqui identificados os problemas atuais, definidos os requisitos de cobertura e capacidade e as condicionantes do projeto. Desta fase deve resultar o documento Problema e Requisitos com os componentes especificados nas tarefas que compõem a fase. O *template* do documento esperado no final desta fase é apresentado no Anexo I.1 - Documento Problema e Requisitos.

Seguidamente surge a fase de Validação da Rede atual em que, com o apoio do documento Problema e Requisitos, das plantas do edifício, do sistema de *survey* e dos relatórios de tráfego é efetuada a validação da rede Wi-Fi e da rede cablada. Com a realização destas tarefas é produzido o relatório de Validação da Rede cujo *template* é ilustrado no Anexo I.2 – Relatório de Validação da rede.

Validado o estado da rede atual passamos ao projeto da rede. Com o documento Problema e Requisitos, relatório de Validação da Rede, plantas do edifício e sistema de *survey* são aqui efetuados os dimensionamentos das ligações agregadas e da rede Wi-Fi, a especificação de todos os componentes da rede e o desenho da solução a implementar. Com estas tarefas é produzido o documento Projeto. O *template* para a elaboração deste documento pode ser encontrado no Anexo I.3 - Documento Projeto.

Segue-se o plano de implementação em que, mediante o plano de investimento e o documento Projeto, realiza-se um orçamento bem como um plano e cronograma dos trabalhos a realizar. Desta fase deve resultar o documento Plano de Implementação cujo *template* é ilustrado no Anexo I.4 - Documento Plano de Implementação.

Tendo o orçamento adjudicado e o plano de trabalhos definidos, passamos à implementação propriamente dita e o acompanhamento da mesma. Para realizar a fase do Acompanhamento da Implementação necessitamos do documento Projeto e do documento Plano de Implementação. Nesta fase são realizadas as tarefas de apoio à implementação e da fiscalização. No final deve ser produzido o relatório Estado da Implementação cujo *template* é apresentado no Anexo I.5 - Relatório Estado de Implementação.

Após a conclusão da instalação segue-se a fase de Validação da Rede implementada em que é realizada a validação da rede Wi-Fi, testes e certificação de forma a verificar o correto funcionamento da rede. No final desta fase deve resultar um relatório de Validação da Implementação com estrutura idêntica ao relatório que foi produzido inicialmente na fase de Validação da Rede.

No processo descrito ao longo deste capítulo existem fases críticas que têm obrigatoriamente de ser realizadas, outras poderão ser opcionais, embora recomendadas. Algumas escolas poderão utilizar o processo de forma completa, outras podem saltar alguma das fases, dependendo dos recursos disponíveis a nível técnico e financeiro. O processo criado permite, de uma forma minimalista, que uma escola com poucos meios garanta pelo menos a definição dos recursos que têm que ser concebidos para uma completa caracterização da escola. A fase Problema e Requisitos, a fase do Projeto de Rede e a fase de Validação da Implementação devem ser realizadas em todas as escolas dada a sua extrema importância. A fase de Problema e Requisitos é essencial para a caracterização de todo o cenário, na definição dos condicionantes e requisitos. A fase de Projeto é fundamental no dimensionamento e especificação dos componentes da rede bem como no desenho da solução a implementar. A Validação da Implementação é crucial para a verificação do correto funcionamento da rede implementada. Já a fase da Validação da Rede atual, dependendo do estado da rede, pode ser ultrapassada, optando por passar diretamente à fase de Projeto de uma rede nova por se tratar de uma rede muito antiga em que os componentes devem preferencialmente ser substituídos na sua totalidade. A fase do Plano de Implementação e a fase do Acompanhamento da Implementação dão uma garantia adicional do alinhamento das tarefas a serem realizadas, asseguram a qualidade dos planos de implementação e certificam que o projeto está realmente a decorrer como esperado, no entanto estas fases não são tão críticas como as fases descritas anteriormente.

É possível identificar algumas limitações no processo que foi definido ao longo deste capítulo, principalmente em termos da definição das entidades competentes em cada fase e ordem de responsabilidades. O processo foi pensado para ser implementado por alguém da escola, quer seja o técnico de informática, o professor de TIC, o responsável pelo Projeto dos Manuais Digitais ou um membro do conselho executivo. Algumas tarefas exigem conhecimento técnico na área das redes e planeamento de *survey*, o que pode levar à necessidade de apoio por parte de entidades externas. Desta forma é importante existir uma clarificação dos perfis e responsabilidades das pessoas que vão acompanhar o processo, tanto em termos de entidades internas como externas à escola.

Como forma de comparar o processo que foi descrito ao longo deste capítulo com outras metodologias de planeamento e projeto de redes informáticas foi realizada uma análise comparativa com o processo apresentado pelo Edmundo Monteiro e Fernando Boa Vida no livro Engenharia de Redes Informáticas [7]. Os autores de [7] apresentam um processo de planeamento e projeto para uma rede nova que compreende as seguintes fases: Levantamento de Requisitos, Planeamento, Projeto, Assistência e Testes.

Tal como na metodologia adotada em [7], foi realizado no processo proposto uma fase de Levantamento de Requisitos, das necessidades e dos condicionantes. Contudo esta primeira fase, designada de Problemas e Requisitos, por se tratar de um planeamento numa rede já existente e por ser um projeto para uma rede Wi-Fi, exigiu adicionalmente a definição dos problemas atuais, caracterização das infraestruturas físicas e das infraestruturas de rede no que toca à rede cablada, Wi-Fi e acesso à internet. O Projeto dos Manuais Digitais tem a particularidade da maioria dos seus utilizadores fazerem uso

de equipamentos móveis, o que exige especial atenção para a rede de área local sem fios. Como tal, ao longo de todo o processo de análise, planeamento e implementação foi dada especial atenção a tarefas específicas para o planeamento da rede Wi-Fi, como a realização de *surveys* ativos, passivos e preditivos bem como a análise a parâmetros críticos que definem a qualidade numa rede Wi-Fi como o RSSI, SNR, *throughput* e *data rate*. Após a fase de Levantamento de Requisitos e pelos motivos referidos anteriormente, optamos por criar uma fase adicional de Validação do Estado da Rede que não existe no processo definido pelos autores em [7]. A validação do estado atual da rede é efetuada mediante a realização de *surveys* ativos e passivos à rede Wi-Fi bem como testes à rede cablada. A fase de Planeamento e Projeto do processo dos autores [7], no processo proposto, foi compreendida na fase de Projeto. Tentou-se minimizar as tarefas nesta fase aos essenciais para este tipo de projeto nomeadamente o dimensionamento da rede Wi-Fi, o dimensionamento do débito de ligação agregada da LAN e acesso à internet, a especificação de todos os componentes a instalar e o desenho da solução a implementar. No processo demonstrado em [7] a fase de Planeamento compreende a tarefa de definição do modelo de funcionamento, da arquitetura lógica e o dimensionamento de todos os subsistemas de comunicação. Já na fase de Projeto definida em [7] estão as tarefas de especificação de todas as componentes da infraestrutura, definição das condições de instalação, o desenho das peças, as medições e o orçamento. Como é possível verificar, outro ponto diferenciador dos processos tem a ver com a tarefa de orçamentação que faz parte do projeto de rede no processo apresentado em [7]. No processo proposto optamos por colocar a tarefa de orçamentação juntamente com as tarefas de plano de trabalhos e cronogramas numa fase designada de Plano de Implementação dada as particularidades deste projeto, no que toca ao financiamento que reflete diretamente no orçamento a realizar bem como na solução a implementar. O projeto de rede tenta ser uma solução completa, já o plano de implementação define quais os requisitos possíveis para a implementação na medida do orçamento praticável. Ainda assim existem fases com o mesmo objetivo e tarefas idênticas às do processo descrito neste capítulo, como é o caso da fase de Apoio à Implementação e Validação da Implementação que se identificam com as fases de Assistência e Teste apresentadas em [7]. De forma geral é possível constatar que continuamos a ter um processo com as fases que são espectáveis num processo de planeamento, mas adaptado às realidades das escolas.

Concluída a descrição do processo de análise, planeamento e implementação de uma rede para o Projeto dos Manuais Digitais e descritas todas as suas fases com as tarefas e ações associadas, passamos agora à demonstração da implementação deste processo recorrendo como exemplo à instituição de ensino que utilizamos como modelo inicialmente na caracterização do problema, a Escola Básica e Secundária Gonçalves Zarco.

5 Caso de estudo

Este capítulo tem como objetivo demonstrar a aplicação real do processo de análise, planeamento e implementação para as redes do Projeto dos Manuais Digitais proposto no capítulo 4. Ao longo deste capítulo pretendemos seguir o processo, aplicando-o como caso de estudo numa escola da RAM, explicar as limitações na sua aplicação e clarificar as opções tomadas em cada fase. São aqui descritos os recursos utilizados para efetuar cada uma das fases, as tarefas que foram realizadas, os resultados obtidos bem como a sua respetiva análise.

O Projeto dos Manuais Digitais está atualmente a ser utilizado em 26 escolas da RAM, neste contexto não era possível fazer o teste em todas as escolas. Do grupo de escolas existentes foi escolhida a Escola Básica e Secundária Gonçalves Zarco por se tratar de uma escola com um edifício antigo, pelo tipo de construção característico, por ter uma comunidade elevada e possuir uma arquitetura comum às restantes escolas. Neste capítulo iremos seguir de forma completa o processo que foi definido anteriormente, na secção 5.1 é aplicada a primeira fase do processo, designada Problema e Requisitos, na 5.2 a fase de Validação da Rede, na 5.3 o Projeto de Rede, na 5.4 o Plano de Implementação na 5.5 o Acompanhamento da Implementação e por fim na 5.6 a Validação da Implementação.

5.1 Problema e Requisitos

Tal como no processo predefinido, para realizar esta fase utilizamos as plantas do edifício e os contratos de serviços de acesso à internet. Foi efetuada uma visita às instalações da Escola Básica e Secundária Gonçalves Zarco, acompanhada pelo técnico de informática, pelo coordenador do Projeto dos Manuais Digitais e pelo coordenador de TIC. Os *inputs* disponibilizados complementados com uma conversa inicial com estes intervenientes no projeto foram cruciais e permitiram ter uma visão mais clara das infraestruturas físicas do edifício, dos utilizadores e aplicações bem como das infraestruturas de rede no que toca à rede Wi-Fi, rede cablada e rede de acesso à internet. Esta caracterização inicial possibilitou descrever cada um destes componentes, identificar as condicionantes do projeto, identificar os problemas, definir os requisitos de cobertura e capacidade bem como as necessidades de gestão, manutenção, segurança e desempenho.

As limitações na realização completa desta fase prenderam-se pela falta de manuais técnicos das redes já instaladas que auxiliassem a ter uma descrição física mais detalhada em termos da rede cablada e da rede elétrica de forma a identificar mais ao detalhe o caminho de cabos utilizados atualmente na escola. Embora a caracterização da rede cablada não fosse completa pela limitação identificada anteriormente, foi elaborado o diagrama físico da rede e descrita a sua organização em termos dos equipamentos ativos e passivos. As restantes tarefas identificadas no processo para esta fase foram realizadas de forma integral e não existiu nada que considerássemos não fazer sentido aplicar.

Refletido o que foi o trabalho desta fase, há um aspeto que deve ser referido, a grande maioria das tarefas associadas à caracterização do problema e dos requisitos foram feitas antes do processo estar definido, o que nos ajudou à definição dos primeiros passos do processo, mas depois deste estar completamente estabelecido todas as tarefas foram revistas para verificar se estávamos efetivamente a cumpri-lo. Deste modo, a primeira fase do processo proposto, designada de problema e requisitos, foi efetuada anteriormente

no capítulo 3 - Caracterização do problema. A realização desta fase nestes moldes permite obter todos os pontos necessários para formular o documento pretendido no final da mesma e cujo *template* é apresentado no Anexo I.1 - Documento Problema e Requisitos.

Após terminada a fase do Problema e Requisitos passamos à fase de Validação da Rede.

5.2 Validação da Rede

Em concordância com o que foi definido no processo, para esta fase recebemos o documento Problema e Requisitos, as plantas do edifício e o sistema de *survey*. Tanto o documento Problema e Requisitos como as plantas são recursos que já vêm da fase anterior. Em termos do sistema de *survey* foi necessária a escolha de uma ferramenta de *software* que permitisse validar, otimizar e solucionar problemas numa WLAN. Após a pesquisa de algumas ferramentas para site *survey* no estado da arte e excluindo as aplicações *server-based* e *cloud-based*, dado que não são adequadas para realizar um site *survey* ativo nem passivo onde é necessário medir o sinal no espaço livre, optou-se por uma aplicação *standalone*. A Universidade da Madeira (UMa) possuía uma licença para a versão PRO do *Ekahau* que mostrou ser uma ótima opção, além de ser uma ferramenta robusta suportada pelas principais empresas do ramo como a Cisco e a Aruba Networks, permite realizar *surveys* passivos, ativos, preditivos, simular a capacidade, simular a cobertura e gerar relatórios o que a torna uma ferramenta com todas as funcionalidades necessárias para a análise, planeamento e implementação das redes de área local sem fios que vão suportar o Projeto dos Manuais Digitais.

Para a Escola Básica e Secundária Gonçalves Zarco e no que concerne a esta fase pretende-se validar a rede Wi-Fi e a rede cablada. Sendo crítica a parte do Wi-Fi neste projeto, é importante mostrar um pouco de como se validou o estado da rede de área local sem fios atual na escola. Desta forma, na secção 5.2.1 é apresentada a tarefa de validação da rede Wi-Fi, posteriormente na secção 5.2.2 é apresentada a tarefa validação da rede cablada.

5.2.1 Validação da rede Wi-Fi

No âmbito desta secção começaremos por falar do procedimento adotado para validar a rede Wi-Fi nesta escola, nomeadamente a realização do *site survey* ativo e passivo nos espaços utilizados pelo Projeto dos Manuais Digitais, os resultados obtidos e uma análise dos mesmos. Antes de realizar o planeamento de uma nova rede Wi-Fi é fundamental entender o estado da rede atual e identificar eventuais problemas. Recorrendo ao *Ekahau* realizamos um *survey* no modo passivo e ativo, associando-se ao SSID “*ManuaisDigitais*”. O procedimento consistiu na execução das seguintes etapas:

1. Importar as plantas do edifício no *Ekahau* e definir a respetiva escala.
2. Efetuar medições através da realização de um percurso dentro da área útil, utilizando o adaptador Wi-Fi NIC-300³³ do *Ekahau*. As medições são feitas através da marcação de pontos na planta com o botão esquerdo do rato, que corresponde à localização atual do utilizador que está a realizar o *survey*. É recomendado marcar o ponto apenas depois de passar cerca de 2 segundos da

³³ NIC-300 USB Wi-Fi adapter - https://sicar.com/onewebmedia/Ekahau_NIC-300-USB_DS.pdf

chegada à localização de medição, para que o *software* tenha tempo suficiente de atualizar os dados recebidos pela NIC-300. O *Ekahau* recomenda que em zonas de linha reta não seja necessário marcar muitos pontos e sugere especial atenção para áreas de curva e em zonas que há nítida alteração dos materiais.

- Finalizada a medição em toda a área de utilização, o *survey* é terminado clicando no botão direito do rato.

Nesta escola o *survey* foi realizado maioritariamente dentro das salas de aula e espaços comuns alvo de utilização dos Manuais Digitais. Inicialmente foi efetuado um *survey* no modo passivo e ativo de forma a verificar o estado da rede atual através da validação da cobertura Wi-Fi nos espaços utilizados no ano anterior por alunos de 5º ano. Seguidamente procedeu-se a um *survey* nas salas e espaços comuns que serão utilizados no próximo ano. Os espaços alvo de utilização são ilustrados na Tabela 10.

Tabela 10 – Salas e espaços comuns utilizados no Projeto dos Manuais Digitais

Ano letivo	Salas e espaços comuns utilizados
2019/20	A1, A2, A3, A4, A5, B13, C3 e C4
2020/21	A9, A13, B7, B11, B12, B15, B16, B17, B18, B19, B23, C1, C2, C5, biblioteca, sala de estudo, sala de sessões, cantina

Note-se que em cada ano letivo os espaços utilizados são os do ano anterior em complemento com os do presente ano. O percurso realizado no *survey* aos espaços alvo de utilização no piso 1 do bloco A1 é mostrado na Figura 22.

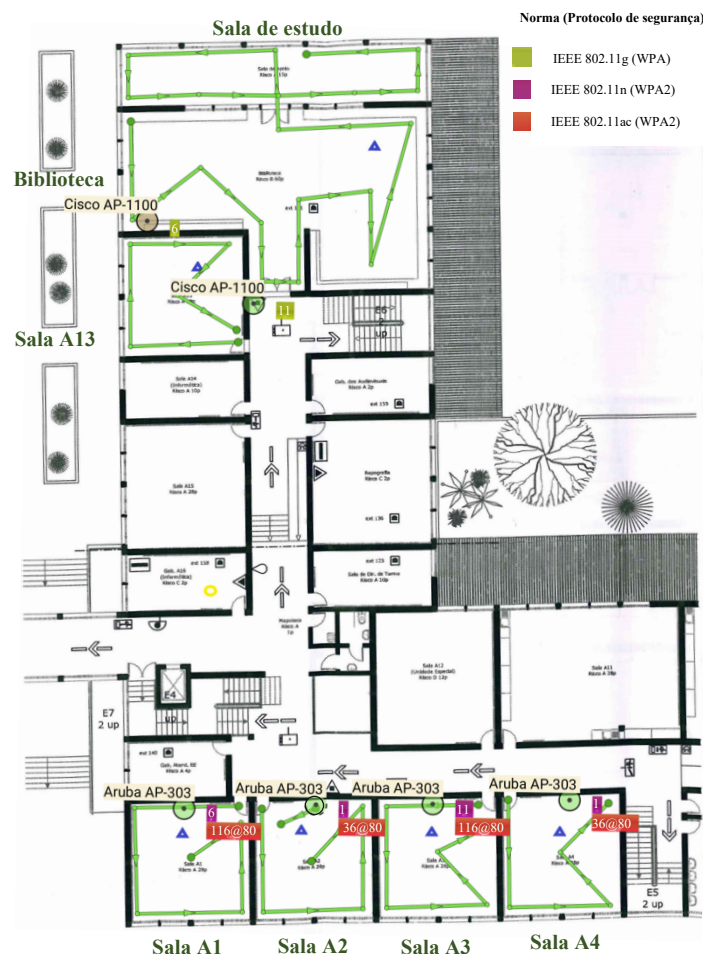


Figura 22 - Trajeto realizado no *survey* das salas do piso 1 bloco A1

Esta pesquisa inicial permite-nos identificar os modelos dos APs utilizados, as suas normas de operação, a largura, o canal e o protocolo de segurança utilizado. O *survey* realizado nas salas e espaços comuns permitiu verificar que nas zonas do piso 1 do bloco A1 existem 2 APs *Cisco Aironet 1100*, um localizado dentro da biblioteca e outro no corredor junto à sala A13. Estes operam na norma IEEE 802.11g e utilizam o protocolo de segurança WPA. Os APs têm uma largura de canal de 20Mhz, um está configurado no canal 6 e outro no canal 11. Verificou-se que nas salas de aula A1, A2, A3 e A4 existe 1 AP por sala. Os APs utilizados nestas salas são os *Alcatel aruba 303 dual band*, que operam na norma IEEE 802.11n com 20Mhz e na norma IEEE 802.11ac com 80Mhz. Estes utilizam o protocolo de segurança WPA2. Em termos da configuração dos canais nestas salas, na banda dos 2.4Ghz são utilizados os canais 6, 1 e 11. Já na banda dos 5Ghz são usados os canais 116 e 36.

Após a realização do *survey* é importante verificar o estado da rede e analisar os resultados obtidos mediante a observação dos seguintes indicadores:

- **Received Signal Strength Indication (RSSI)** medido em dBm - O indicador de intensidade do sinal recebido (RSSI) é uma medida estimada da intensidade do sinal recebido por um dispositivo. Determina a qualidade com que um dispositivo pode ouvir, detetar e receber sinais de um AP. Este ajuda a saber se um sinal é suficientemente forte para estabelecer uma conexão sem fios. Normalmente considera-se adequado um mínimo RSSI de -67dBm para uma rede que suporte voz e dados.
- **Signal Noise Ratio (SNR)** medido em dB – É a diferença entre o sinal Wi-Fi recebido e o nível de ruído. O ruído são transmissões de fundo erradas que são emitidas por outros dispositivos que estão muito distantes para que o sinal seja inteligível ou por dispositivos que inadvertidamente criam interferência na mesma frequência. Geralmente, um sinal com um valor SNR de 20dB ou mais é recomendado para redes de dados, já um valor SNR superior a 25dB é aconselhado para redes que usam aplicações de voz.
- **Data rate** medido em Mbps - Parâmetro relativo à velocidade de ligação, refere-se à velocidade máxima teórica da rede, baseada no padrão IEEE 802.11 suportado pelos equipamentos instalados.
- **Throughput**³⁴ medido em Mbps - é a taxa de transferência efetiva de um sistema, a quantidade de dados transferidos de um lugar a outro num determinado espaço de tempo. A taxa de transferência efetiva de um determinado sistema pode ser menor que a taxa de entrada, devido às perdas e atrasos no sistema. Os parâmetros *data rate* e *throughput* relacionam-se na medida em que o *throughput* é cerca de metade do *data rate*. O *data rate* e o *throughput* aceitáveis vão depender do tipo de rede que estamos a planear, do número de acessos simultâneos e das aplicações utilizadas.

A análise aos parâmetros descritos anteriormente é feita com recurso aos *heatmaps* que são gerados pelo *EkaHau* depois da realização do *survey*.

³⁴ O *EkaHau* não efetua medições efetivas ao *throughput*, pois o input utilizado pela ferramenta no *survey* ativo é o *ping*. Para isso é necessário utilizar um servidor do tipo *iPerf* que requer ligação via *ethernet*.

Seguidamente são apresentados os *heatmaps* dos vários parâmetros para o *survey* realizado no piso 1 do bloco A1. A Figura 23 mostra o *heatmap* do RSSI no piso 1 do bloco A1.

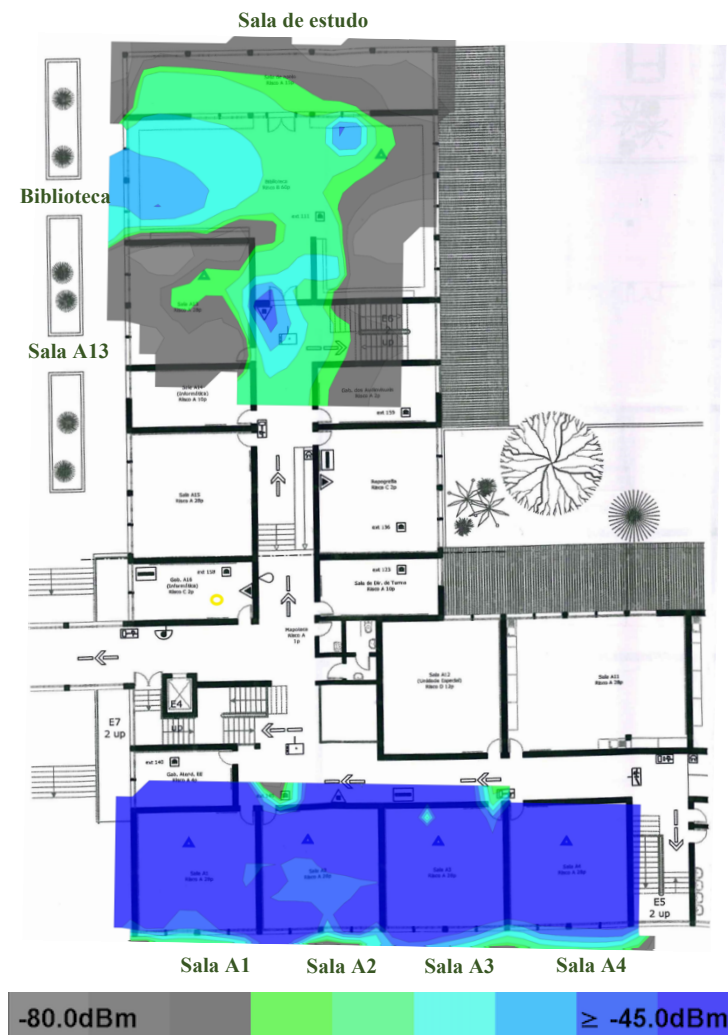


Figura 23 – Heatmap do RSSI no piso 1 bloco A1

Com a análise do *heatmap* gerado pelo *Ekahau* é possível verificar que a cobertura Wi-Fi no piso 1 do Bloco A1, apresenta os seguintes resultados:

- As salas utilizadas para lecionar alunos de 5º ano nomeadamente a sala A1, A2, A3 e A4 estão todas bem cobertas com um AP por sala atingindo valores na ordem dos **-45dBm** ou superior.
- A sala A13 que será utilizada no próximo ano letivo, mesmo com um AP na parede adjacente da biblioteca e outro no corredor, apenas apresenta uma pequena zona com sinal aceitável entre os **-65dBm** e os **-60dBm**, contudo verifica-se deficiências no nível de sinal com valores entre **-75dBm** a **-70dBm** em algumas extremidades da sala, outras com valores de **-80dBm** a **-75dBm** assim como algumas zonas mortas onde o sinal não chega.
- Na biblioteca existem zonas em que a cobertura é razoável com valores até **-65dBm**, no entanto foi possível notar níveis de sinal pouco satisfatórios na

extremidade direita com valores entre os **-70dBm** e os **-67dBm** e até mesmo entre os **-80dBm** e os **-75dBm**.

- A sala de estudo também apresenta valores pouco satisfatórios na força do sinal já que na extremidade direita fez-se notar níveis de sinal entre os **-75dBm** e os **-70dBm**.

Após analisado o parâmetro RSSI, observemos agora o *throughput* através da análise do *heatmap* do *throughput* obtido no piso 1 do bloco A1 ilustrado na Figura 24.



Figura 24 – Heatmap do *Throughput* no piso 1 bloco A1

Através da análise ao *heatmap* relativo ao parâmetro *throughput* é possível verificar que:

- Nas salas A1, A2, A3 e A4 registaram-se níveis de *throughput* bastante satisfatórios, maioritariamente superiores a **646Mbps**.
- A sala A13 apresentou valores de *throughput* que não são aceitáveis para este cenário, estes variam entre os **12Mbps** e os **26Mbps**.
- A biblioteca apresentou valores que não são satisfatórios, registou-se *throughputs* compreendidos entre os **10Mbps** e os **32Mbps**.

- Na sala de estudo anexa à biblioteca fizeram-se sentir valores de *throughput* que não são adequados, estes variam entre os **8Mbps** e os **28Mbps**.

É importante realçar que este *heatmap* relativo ao *throughput* não considera o número de utilizadores, desta forma serão de esperar valores sempre inferiores a 646 Mbps mesmo nos melhores casos obtidos. Ainda assim considera-se *throughputs* bastante aceitáveis para as salas que estão a ser utilizadas no presente ano letivo. Como o *data rate* e o *throughput* estão relacionados na medida em que *data rate* é cerca do dobro do valor do *throughput* apresentado, neste caso optou-se por analisar apenas o *throughput*.

Terminada a análise ao parâmetro do *throughput* vamos agora analisar o *heatmap* do SNR apresentado na Figura 25.



Figura 25 – Heatmap do SNR no bloco A1 piso 1

Em relação ao SNR é possível verificar que:

- As salas A1, A2, A3 e A4 apresentam valores de SNR sempre superiores a **40dB**.
- Na sala A13 temos uma zona com SNR entre os **25dB** e os **35dB**, no entanto nas extremidades da sala registaram-se valores entre os **10dB** e os **15dB**.

- Na biblioteca, embora tenhamos registado algumas zonas entre os **25dB** e os **30dB**, a maior parte da área utilizável registou valores entre os **10dB** e os **20dB**.
- A sala de estudo apresentou maioritariamente valores de SNR inferiores a **20dB**.

Os valores de SNR superiores a 25dB que foram obtidos garantem um sinal recomendado tanto para redes de dados como para aplicações de voz, já os valores inferiores a 20dB não estão adequados para nenhum dos cenários.

Após analisado o RSSI, o *throughput* e o SNR, vamos agora verificar os problemas detetados na rede através da análise ao *heatmap* relativo ao parâmetro *network issues* para piso 1 do bloco A1 apresentado na Figura 26.

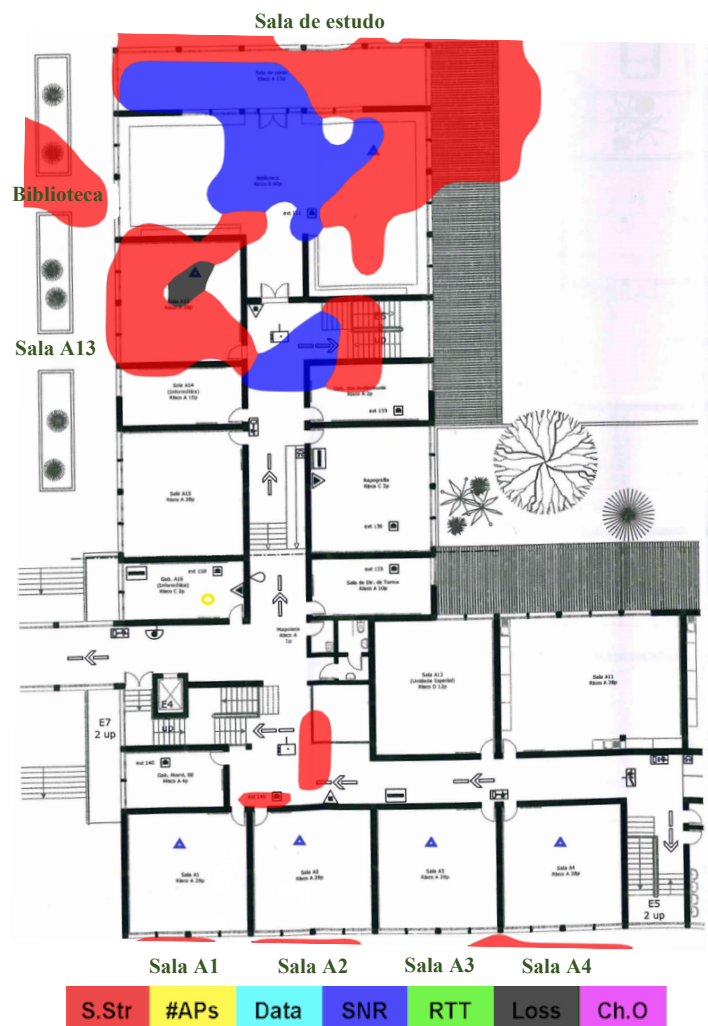


Figura 26 - Heatmap do parâmetro *Network Issues* para o bloco A1 piso 1

Com a análise ao parâmetro *Network issues* destacam-se 3 problemas no *survey* realizado:

- Um dos problemas está diretamente relacionado com o baixo RSSI detetado na sala A13, na extremidade direita da biblioteca e na sala de estudo. Os valores obtidos nestas zonas foram sempre inferiores a **-67dBm**.

- Outro problema está relacionado com o SNR inferior a **20dB** na biblioteca e na sala de estudo.
- O terceiro problema tem a ver com o *Packet Loss* dado que se registou uma percentagem de pacotes perdidos superior a **2%** na sala A13.

O *pré-survey* e os resultados para os restantes pisos dos blocos A, B e C em que existem salas e espaços comuns destinados à utilização do Projeto dos Manuais Digitais nesta escola são apresentados no Anexo C – Pré-survey passivo e ativo.

Concluída a tarefa de validação da rede Wi-Fi, passamos agora à validação da rede cablada.

5.2.2 Validação da rede cablada

Nesta tarefa foram realizados alguns testes de velocidade e estabilidade à rede com a medição de parâmetros como o *download*, *upload* e latência a diferentes horas do dia com quantidades de utilizadores distintas.

Na Tabela 11 são apresentados alguns testes que foram realizados a diferentes horas do dia utilizando o NET.mede³⁵. Foi utilizado este serviço porque é certificado pela ANACOM³⁶ e permite testar alguns parâmetros de qualidade do serviço internet como a velocidade de *download*, *upload* e latência, consultar relatórios de teste e visualizar exemplos de serviços para os quais a ligação é considerada adequada.

Tabela 11 - Registo inicial de parâmetros relativos à rede cablada

Data	Hora	Download (Mbps)	Upload (Mbps)	Latência (ms)	Utilizadores
2020/03/05	09h00	400,0	97,9	20	120
2020/03/05	11h00	500,6	90,8	16	100
2020/03/05	12h30	100,4	80,3	21	120
2020/03/05	13h00	340,9	96,6	19	160
2020/03/06	14h05	80,2	40,4	60	140
2020/03/06	15h00	650,2	97,0	32	130
2020/03/06	16h30	95,9	45,8	27	200
2020/03/06	17h35	300,2	88,3	11	200

Com a análise à Tabela 11 é possível verificar que embora tenhamos velocidades razoáveis face ao débito contratado de 1Gbps de *download* e 100Mbps de *upload*, existem muitas flutuações. Registamos velocidade de download em alguns testes perto de 700Mbps, mas outros com valores inferiores a 100Mbps que corresponde a menos de 10% da velocidade contratada. Os utilizadores relatam insatisfação na velocidade da ligação. Por exemplo, ao descarregar um manual digital de 50MB demora muito tempo, a visualização de um vídeo em HD no *youtube* por vezes tarda a iniciar. Mesmo

³⁵ Net.mede - <https://netmede.pt/>

³⁶ ANACOM - <https://www.anacom.pt/>

aplicações como o *Kahoot* ou *quizizz* têm paragens. Apesar de se ter registado velocidades aparentemente satisfatórias, nem sempre se consegue realizar atividades com bidirecionalidade. Os alunos sentem alguma lentidão na utilização do *khan Academy*, até os *quizzes* da Porto Editora ou Aula Digital propostos para realizar nos *tablets* por vezes ficam lentos.

Na tarefa de validação da rede cablada surgiram algumas limitações quanto à análise do tráfego na rede dado que não existiam relatórios de tráfego. Este planeamento coincidiu com o pico da pandemia causada pela COVID-19 na RAM e consequente confinamento, o que inviabilizou a instalação de uma estação de monitorização na escola, no limite íamos obter dados atípicos que não corresponderiam ao tráfego real da escola porque as aulas presenciais estavam limitadas.

Como foi possível verificar ao longo da realização desta fase conseguimos aplicar a tarefa de validação da rede Wi-Fi na sua totalidade. Já na validação da rede cablada surgiram algumas limitações, nomeadamente na parte da análise do tráfego por nos faltar os relatórios de tráfego e pelas condições reunidas na altura impossibilitarem a análise do tráfego de forma adequada. Ainda assim foram realizados alguns testes de velocidade e estabilidade à rede.

A aplicação da fase de Validação da Rede desta forma permite-nos recolher os principais componentes para elaborar o relatório esperado no final desta fase e cujo *template* é ilustrado no Anexo I.2 – Relatório Validação da Rede.

Terminada a fase de Validação da Rede passamos agora à fase de Projeto da Rede.

5.3 Projeto da Rede

Para a realização desta fase, de igual modo como foi definido no processo proposto, recorreremos ao documento Problema e Requisitos, ao relatório de Validação da Rede, às plantas do edifício e ao sistema de *survey*.

A realização desta fase compreende o dimensionamento da rede Wi-Fi que será apresentado na secção 5.3.1, o dimensionamento do débito da ligação agregada na secção 5.3.2, a especificação de todos os componentes da infraestrutura na secção 5.3.3 e o desenho da solução na secção 5.3.4.

5.3.1 Dimensionamento da rede Wi-Fi

Nesta secção é apresentado o método utilizado para o dimensionamento da rede Wi-Fi, os resultados obtidos e a sua respetiva análise.

O dimensionamento da rede Wi-Fi na Escola Básica e Secundária Gonçalves Zarco foi realizado de uma forma preditiva com recurso a um *survey* no modo preditivo utilizando o *Ekahau*. Este método de *survey* é adequado para uma fase inicial do projeto e pode ser relevante quando não é possível realizar um *survey* presencial e/ou em complemento do mesmo. Neste projeto o *survey* preditivo foi importante dado que o planeamento das redes nas escolas sobrepôs-se em certa parte com o período de confinamento devido à situação pandémica provocada pela COVID-19 na RAM, o que impossibilitou o *survey* presencial durante algum tempo.

Através do *survey* preditivo com o *software Ekahau* é possível planear uma rede considerando a cobertura e a capacidade. A elaboração de um projeto no *Ekahau* engloba uma série de tarefas que são descritas no fluxograma da Figura 27.

1. O primeiro passo consiste em carregar as plantas para o *software* e definir as suas escalas. A escala pode ser definida introduzindo, por exemplo, o comprimento real de uma porta.
2. A segunda etapa varia consoante o tipo de formato do ficheiro da planta. Se o ficheiro for *autocad* temos apenas que fazer corresponder os níveis de atenuação dos materiais predefinidos no *Ekahau* aos materiais do projeto *autocad*. De realçar que além dos materiais que existem por padrão é possível criar materiais com a atenuação desejada. No caso da planta ter qualquer outro tipo de ficheiro (png, jpg, pdf), os materiais e níveis de atenuação são definidos manualmente em toda a área.
3. O passo seguinte consiste em definir a área de utilização onde é selecionada toda a área útil representada na planta. Existe também a ferramenta de exclusão que permite selecionar as zonas que devem ser ignoradas.
4. Por último são definidas as zonas de utilização consoante o tipo, nº de dispositivos e perfil de utilização.

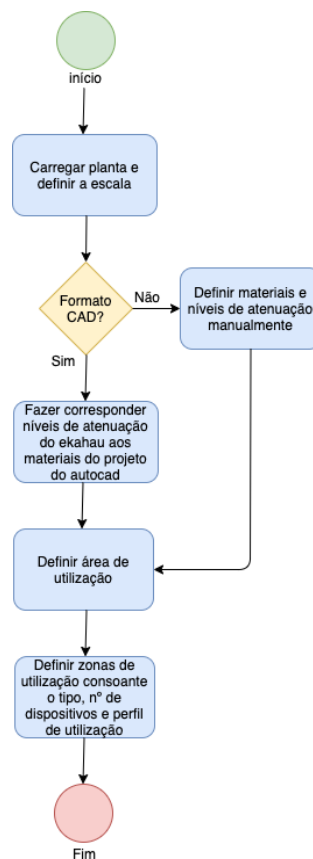


Figura 27 - Fluxograma de elaboração de um projeto no *Ekahau* ³⁷

³⁷ *Ekahau* - <https://www.ekahau.com/>

Tal como apresentado no fluxograma anterior, inicialmente começou-se por inserir as plantas do edifício no programa e definir a sua escala mediante a introdução da largura da porta de uma sala com 80cm. A Figura 28 ilustra a definição da escala na planta.

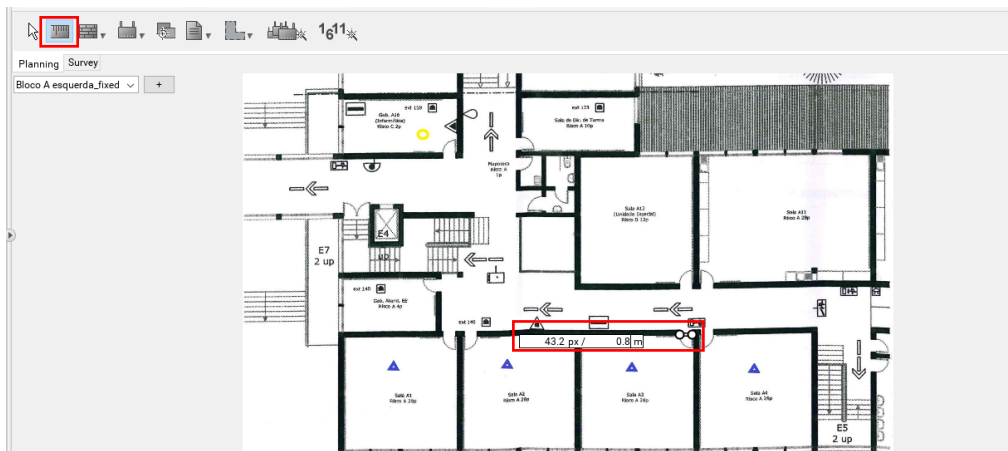


Figura 28 – Definição da escala na planta

Após definida a escala passamos à especificação dos materiais e níveis de atenuação nas plantas do edifício. Como o formato das plantas fornecidas pela escola não estavam em formato DWG foi necessário definir os materiais e níveis de atenuação manualmente no *Ekahau*. Esta funcionalidade é importante dado que define o nível de atenuação de cada material, de forma a ser considerado na propagação do sinal RF. Existem materiais com níveis de atenuação predefinidos no *Ekahau* mas, para ser considerado um valor mais preciso, podemos calcular a atenuação dos materiais previamente no ambiente físico. Neste cenário o mais importante era calcular a atenuação das paredes que separam as salas de aula. De modo calcular a atenuação das paredes que separam as salas de aula na escola procedeu-se a um teste em que foi instalado um AP provisoriamente na sala A2 e foram realizados testes de medição de sinal na sala adjacente. Os resultados do teste podem ser visualizados no Anexo J – Teste de atenuação. O teste de medição na sala com o AP registou um sinal de -38dBm, já na sala adjacente o sinal foi de -71dBm. Com as medições efetuadas foi possível calcular a atenuação das paredes que separam as salas da seguinte forma:

Atenuação (dB) = valor dBm medido dentro da sala A2 (sala com AP) - valor dBm medido na sala A1 (sala sem AP)

$$\text{Atenuação (dB)} = -38 - (-71) = 33\text{dB}$$

Calculada a atenuação das paredes que separam as salas, passamos à definição dos materiais no *Ekahau*. Desta forma, para as paredes utilizou-se o material ‘concrete’ com 33dB de atenuação, as portas foram definidas com ‘solid wood’ de 6dB de atenuação, o elevador caracterizado com o material ‘elevator shaft’ de 30dB de atenuação e as janelas com ‘window interior’ de 1dB de atenuação.

A Figura 29 ilustra a realização do processo descrito anteriormente no *Ekahau*.

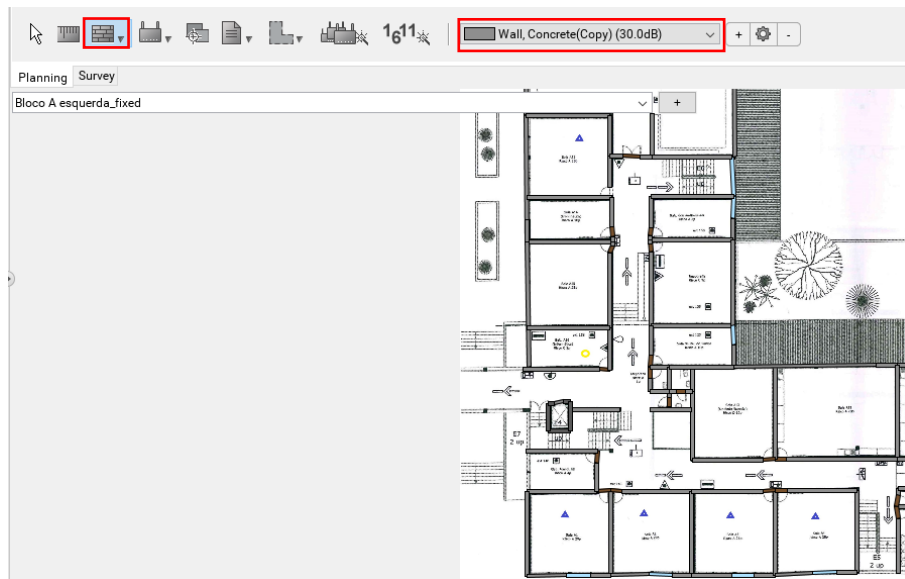


Figura 29 – Definição dos materiais na planta

Depois dos materiais e níveis de atenuação estarem estabelecidos, definimos a área de utilização para cobertura tendo em conta os requisitos necessários de forma a garantir uma comunicação adequada numa rede de dados. No nosso planeamento foram definidos os seguintes requisitos: um RSSI min de -67dBm , SNR superior a 20dB , RTT máximo de 200ms e *Packet Loss* máximo de 2% .

Seguidamente passamos à definição das áreas de utilização consoante o tipo, nº de dispositivos e perfil de utilização. Com isso é calculado o *bitrate* total por área. Na Figura 30 é ilustrada a caracterização da área da sala A1. As restantes áreas de utilização criadas podem ser visualizadas no Anexo B – Áreas de utilização.

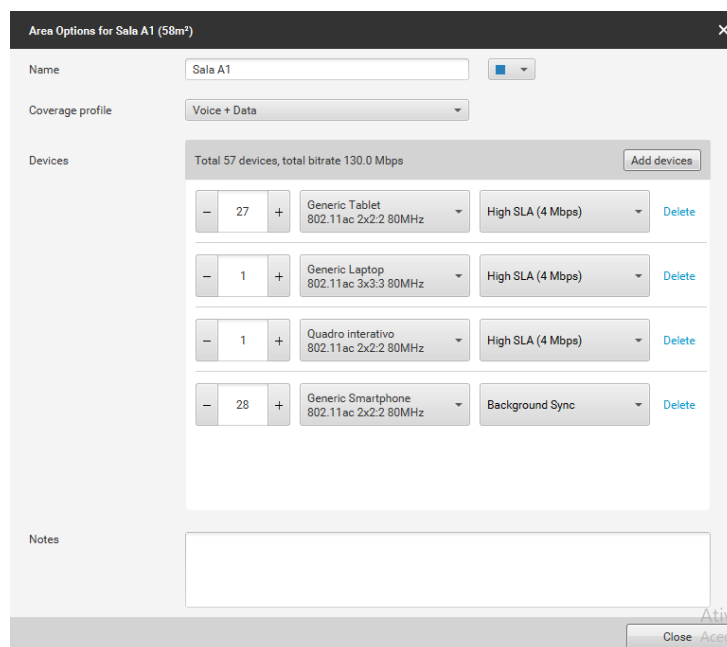


Figura 30 – Caraterização da área da sala A1

A área da sala A1 é um caso típico de uma sala de aula com lotação de 28 lugares. Nesta sala definimos 27 *tablets*, 1 *laptop* e 1 quadro interativo que operam na norma IEEE 802.11ac com *High Service Level Agreement* (SLA) de 4Mbps visto que são os

dispositivos com uso intensivo. Além destes foram definidos 28 *smartphones* com a atividade de *Background Synchronization* de 0.5 Mbps. A determinação destes requisitos por área de utilização permitem-nos definir o projeto em termos de capacidade. Com esta tarefa concluímos as etapas que foram estabelecidas na Figura 27 para elaboração de um projeto no *Ekahau*.

Definidas as áreas de utilização, os requisitos de cobertura e os requisitos de capacidade, passamos agora à simulação da nova rede com a introdução manual dos APs ou através da funcionalidade do *autoplaner* do *Ekahau*. O *software Ekahau* dispõe de uma ferramenta designada de ‘*autoplaner*’ que, através de um algoritmo, prevê a melhor posição para os APs de forma a satisfazer os requisitos que definimos inicialmente em cada área de utilização. Para isso precisamos determinar o modelo do AP a ser utilizado no planeamento bem como as suas características de operação. Nesta fase é essencial escolher um AP para ser utilizado nos testes de projeto. É necessário definir o AP pela densidade de clientes e pela cobertura de forma a que satisfaça as necessidades dos utilizadores. Quando não é possível definir um AP nesta fase podemos optar por utilizar o modelo genérico no *survey* preditivo, contudo os resultados obtidos podem ser menos precisos porque os diagramas de radiação podem divergir assim como a potência de transmissão, norma IEEE 802.11 utilizada, entre outras características específicas do AP. Depois de analisar o *datasheet* do modelo de AP utilizado ao ano passado³⁸, decidiu-se manter o mesmo AP neste planeamento. É um AP com custo reduzido para as características que apresenta. Opera na norma IEEE 802.11ac wave 2, é *dual band* com MU-MIMO que garante um *data rate* de 867 Mbps na banda de 5Ghz e 300 Mbps na banda dos 2.4Ghz. Além disso suporta até 256 dispositivos clientes associados por rádio e o mesmo rádio pode emitir até 16 BSSIDs.

Para definir a posição do AP foi importante analisar os diagramas de radiação nomeadamente o plano H ou plano horizontal (azimute) que mostra uma visão de cima para baixo do padrão de radiação através do centro da antena e o plano E ou plano de elevação que mostra uma vista lateral do mesmo padrão de radiação. Como é possível verificar pelos diagramas de radiação, o AP *Alcatel Aruba 303* é omnidirecional e emite em todas as direções, no entanto tem melhor aproveitamento em plano horizontal com o AP montado no teto e o ângulo de *downtilt* para ganho máximo é cerca de 30 graus.

Após definido o modelo do AP a utilizar e as suas características passamos à sua configuração no *software Ekahau*. A Figura 31 mostra o processo descrito anteriormente em que se configura o AP, a sua potência de transmissão, altura da posição da antena, canais de operação para a banda dos 2.4Ghz e 5Ghz, largura do canal e o mínimo *data rate* aceitável.

³⁸ AP aruba 303 Series datasheet - https://www.arubanetworks.com/assets/ds/DS_AP303Series.pdf

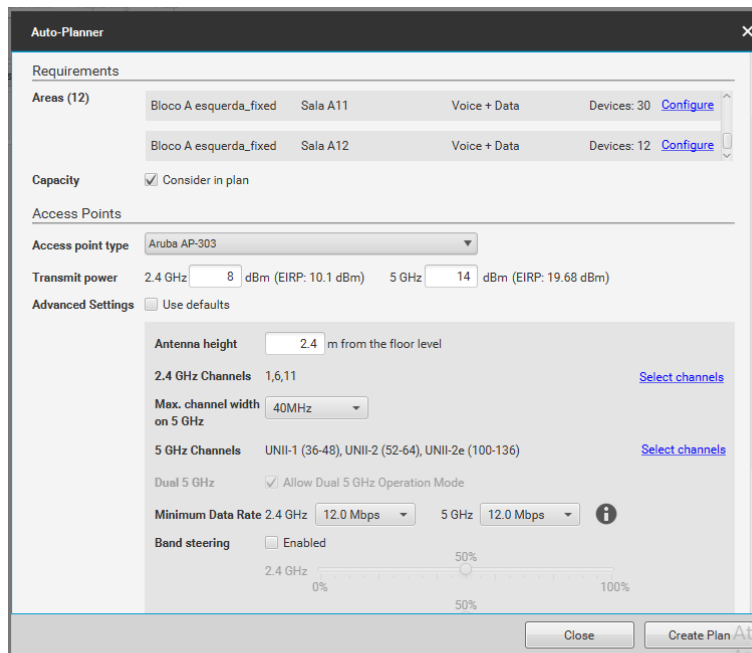


Figura 31 - Autoplaner do Ekahau

Com as características definidas, o *software* propõe uma localização para os APs que pode ser ajustada conforme for mais conveniente. O *layout* dos APs simulado pelo *Ekahau* para o piso 1 do bloco A1 é apresentado na Figura 32.

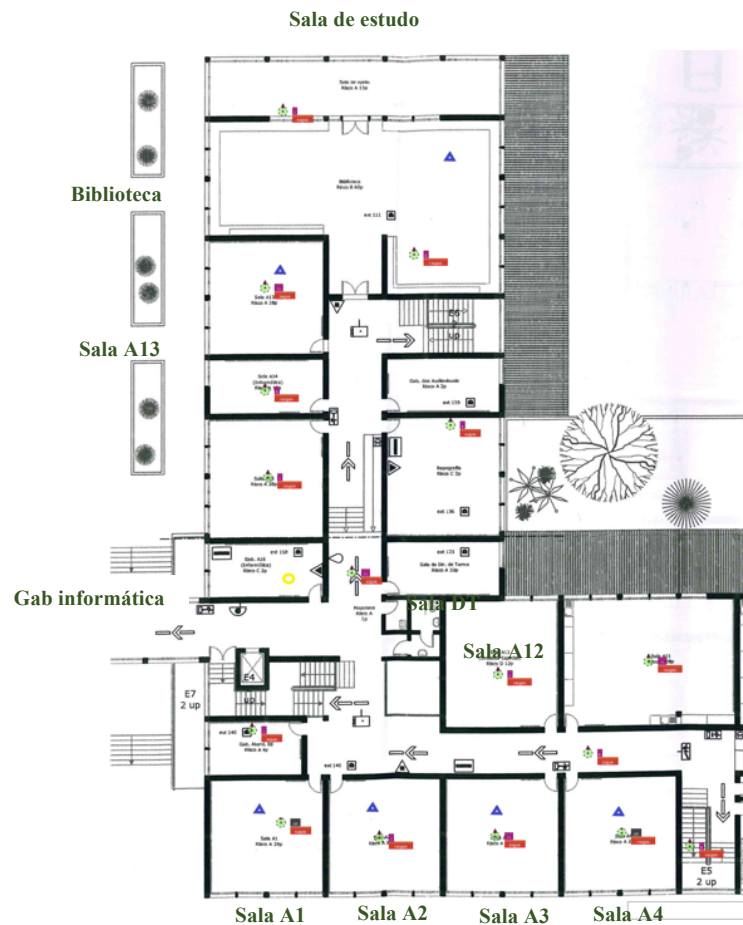


Figura 32 - Layout dos APs no piso 1 bloco A1 definido pelo auto-planner do Ekahau

Depois de definido o plano com o *layout* dos APs no ambiente, podemos analisar o estado atual da rede de forma preditiva através da análise a variáveis como *Network health*, que nos mostra onde a rede falha consoante os requisitos que definimos inicialmente.

Como é possível constatar pelo *heatmap* do parâmetro *Network Issues*, a rede com este *layout* tem 2 pontos de falha (regiões assinaladas a vermelho). Um foi identificado perto das casas de banho adjacentes à sala A12 e outro no corredor junto ao gabinete de informática. O parâmetro *network issues* mostra-nos os principais problemas que uma rede Wi-Fi pode ter nomeadamente: RSSI, o número de APs, *Data*, SNR, RTT, *Loss* e *Channel overlap* (Ch.o). Além dos problemas são apresentadas algumas sugestões de resolução. A Figura 33 ilustra o *heatmap* do *Network issues* no piso 1 do bloco A1.

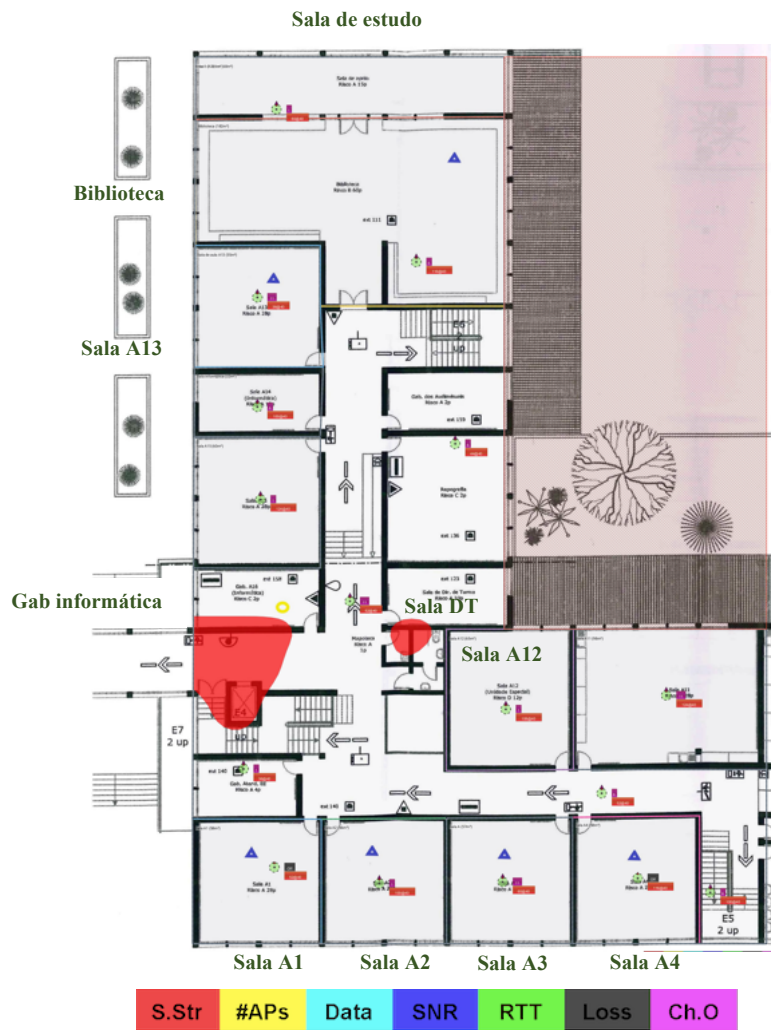


Figura 33 – *Heatmap* do *Network Issues* no piso 1 bloco A1

É possível verificar que o problema detetado anteriormente está diretamente relacionado com a cobertura nomeadamente a força do sinal é inferior a -67dBm nos 2 locais assinalados. No entanto não representam pontos cruciais de cobertura por se tratar de zonas no corredor/wc, dessa forma o problema detetado pode ser ignorado.

Para validarmos a rede em termos de requisitos de capacidade é importante verificar o parâmetro *Capacity Health*. Este mostra-nos se a rede Wi-Fi consegue suportar o número e tipo de utilizadores que foram definidos nos requisitos de capacidade. Neste parâmetro

são analisados os níveis de utilização do AP mediante o *airtime* e a quantidade de clientes associados a cada rádio. A Figura 34 mostra o *heatmap* do parâmetro *Capacity Health* no piso 1 do bloco A1.



Figura 34 – Heatmap do *Capacity Health* no piso 1 bloco A1

Como é possível validar pelo *heatmap* do *Capacity Health* no piso 1 do bloco A1, a rede garante todos os requisitos de capacidade definidos no planeamento inicial.

Após analisado o planeamento para o *layout* dos APs no ambiente tendo em conta os requisitos de cobertura e capacidade e identificados os problemas na rede com este *layout*, é importante observar alguns parâmetros que definem a qualidade da rede Wi-Fi neste cenário nomeadamente o RSSI, *throughput* e SNR. O *heatmap* desses parâmetros, bem como o restante planeamento preditivo são apresentados no Anexo D - Survey preditivo.

Concluído o *survey* preditivo é importante validarmos a sua eficácia no ambiente real de utilização, antes da implementação propriamente dita. Esta validação pode ser realizada com recurso a um *survey* ativo. Seguidamente é apresentado o método utilizado para validar o *layout* dos APs que obtivemos como resultado do *survey* preditivo.

Embora o *survey* preditivo seja extremamente útil no planeamento de uma WLAN por cobertura e capacidade, estes são baseados em cálculos teóricos e não em medições reais. Por esse motivo é importante realizar um *survey* ativo no ambiente físico para validar o

planeamento realizado de forma preditiva utilizando, por exemplo, a técnica “AP-on-a-Stick” [10]. O nome surge pelo facto da pesquisa se basear na associação de um AP que é montado numa espécie de “bastão”. Nesta técnica instala-se o AP provisoriamente na suposta posição final, energia é aplicada ao AP e as medições de intensidade do sinal são realizadas caminhando em direção e afastando-se do AP até que a borda da célula desejada seja determinada. Em seguida, o AP é movido para o local onde se espera que o centro de uma célula adjacente seja realizado e mais medidas de borda da célula são calculadas. Como nível de referência para definir a borda da célula do AP numa rede de dados é recomendável o min RSSI de -67dBm.

Na Escola Básica e Secundária Gonçalves Zarco procedeu-se a um *survey* ativo utilizando a técnica descrita anteriormente com o objetivo de determinar o *layout* dos novos APs na rede. Na realização deste *survey* foi utilizado o AP aruba 303 (RW)³⁹, modelo que será usado na implementação desta rede, um *switch Cisco SG300* de 8 portas com PoE⁴⁰ para alimentar o AP e um *router technicolor tg789vac v2*⁴¹ para realizar DHCP. A Figura 35 ilustra a técnica descrita anteriormente para determinar o *layout* dos APs nas salas B15, B16 e B17.



Figura 35 -Sequencia de testes no *survey* “AP on a stick” nas salas do piso 1 Bloco B

Inicialmente um AP foi instalado provisoriamente na sala B15 de forma a definir a borda da célula nesta zona. Quando o nível de sinal atingiu o valor de -67dBm, outro AP foi instalado, neste caso na sala B16 e o processo repetiu-se para a sala B17. Ao planear o *layout* dos APs no ambiente com um min RSSI rigoroso garante-se uma conexão com qualidade para os clientes dado que estes conseguem sempre associar-se a um AP com RSSI elevado e utilizar os melhores esquemas de modulação e codificação, o que consequentemente possibilita *throughputs* mais elevados. Além disso a adoção deste tipo de requisitos no planeamento assegura a sobreposição das células de 15% a 20%, o que proporciona um roaming limpo entre as salas de aula.

Através deste processo conseguimos determinar e validar o *layout* dos APs no ambiente. A realização destes testes em complemento com os efetuados anteriormente permite verificar que um AP cobre pouco mais que uma sala de aula, o que leva à necessidade de instalação de um AP por sala de forma a garantir os requisitos de cobertura e capacidade que necessitamos para o Projeto dos Manuais Digitais nesta escola.

³⁹ AP HP aruba 303 series - https://www.arubanetworks.com/assets/ds/DS_AP303Series.pdf

⁴⁰ Switch SG300 - <https://www.router-switch.com/pdf/sg300-10p-datasheet.pdf>

⁴¹ Router tg789vac v2- <https://geektuga.ddns.net/downloads/technicolor/TG789vacv2-datasheet.pdf>

Após realizarmos o *survey* preditivo recorrendo a um modelo preditivo e um *survey* ativo com a técnica designada de “*AP-on-a-Stick*” conseguimos dimensionar a rede Wi-Fi adequadamente e definir o *layout* dos APs no ambiente.

Concluído o dimensionamento da rede Wi-Fi, passamos ao dimensionamento das ligações.

5.3.2 Dimensionamento das ligações

No capítulo da Caracterização do problema foram descritos os tipos de aplicações no Projeto dos Manuais Digitais em termos de débito individual, nesta tarefa iremos realizar o dimensionamento das ligações tendo em conta essa caracterização. Será realizado o dimensionamento do débito da LAN e da ligação agregada de acesso à internet.

Começamos por definir as necessidades nominais e de exceção dos fluxos individuais com o objetivo de obter os limites para as necessidades de fluxos agregados. O débito nominal corresponde ao débito mínimo necessário para realizar a transação dentro do tempo de resposta ótimo, na situação em que os blocos têm uma dimensão normal. O débito de exceção é o débito mínimo necessário para realizar a transação dentro do tempo de resposta tolerável, na situação de funcionamento de exceção em que os blocos têm uma dimensão grande.

Definidos os débitos nominais e de exceção para todos os tipos de aplicações que a rede exige, são estabelecidos os fluxos a montante e fluxos jusante. Os fluxos a montante representam a quantidade máxima possível de fluxos em simultâneo numa determinada aplicação, já os fluxos a jusante representam a quantidade de fluxos que efetivamente estão em atividade numa certa aplicação. O número de fluxos a jusante é calculado a partir do número de fluxos a montante, tendo em conta um certo fator de simultaneidade.

Após definidos estes parâmetros, estão reunidas as condições para calcular o débito total por aplicação, a necessidade total de débito na ligação agregada, a capacidade mínima da ligação, a margem de débito para evolução e por fim especificar o débito da ligação agregada e a taxa nominal de utilização. O débito total por aplicação é calculado multiplicando o número de fluxos jusante pelo débito nominal da aplicação. A necessidade total de débito na ligação agregada representa o somatório dos débitos totais por aplicação. A capacidade mínima da ligação é o maior dos débitos de exceção suportado. A margem de evolução corresponde à definição de uma percentagem de evolução prevista sobre a necessidade total de débito na ligação agregada. Para especificar o débito da ligação agregada somamos a necessidade total de débito da ligação agregada com a margem de débito para evolução. A taxa nominal de utilização da ligação agregada representa a percentagem de utilização do total de débito na ligação agregada, com isso é possível inferir a margem que fica disponível para evolução.

O dimensionamento do débito da LAN passou por dimensionar a capacidade de ligação dos distribuidores de bloco. Para isso considerou-se em todas as aplicações um fator de simultaneidade 1, uma vez que todos os servidores de comunicações se encontram instalados no mesmo edifício. Desta forma o número de fluxos a montante é igual ao número de fluxos jusante, este número representa a quantidade estimada de utilizadores.

Na Tabela 12 são apresentados os resultados do dimensionamento do débito LAN.

Tabela 12 - Dimensionamento do débito LAN (Bloco A)

Aplicação	Débito nominal (Kbps)	Débito exceção (Kbps)	Nº de fluxos montante	Nº de fluxos jusante	Fator de simultaneidade	Débito total por aplicação (Kbps)
<i>Web Browsing</i>	500	1024	120	120	1	60.000
Conteúdo áudio	100	1024	120	120	1	12.000
<i>Streaming de vídeo</i>	2048	4096	120	120	1	245.760
Partilha de ficheiros	1024	2048	120	120	1	122.880
Necessidade total de débito na ligação agregada						440.640
Capacidade mínima da ligação						4096
Margem de débito para evolução						559.360
Especificação de débito da ligação agregada						1000.000
Taxa nominal de utilização da ligação agregada						44%

Desta forma estima-se que a ligação entre os switches e o backbone de edifício deverá ser toda efetuada a 1Gbps, utilizando a tecnologia Gigabit Ethernet com uma margem para evolução de 56%. O dimensionamento do débito para as restantes zonas é apresentado no Anexo E – Dimensionamento das ligações. Este dimensionamento é bastante conservativo porque estamos a considerar que todos os utilizadores estão a gerar fluxos em todas as aplicações ao mesmo tempo. O sobredimensionamento da capacidade destas ligações é perfeitamente compreensível e necessário dada as perspetivas de escalabilidade da rede. Numa rede onde o principal propósito é o acesso à internet pelos tablets para acesso a recursos didáticos de carácter digital é fundamental dimensionar o débito da ligação agregada para acesso à internet. Neste dimensionamento são contabilizados todos os utilizadores que estão atualmente inseridos no projeto. A Tabela 13 mostra os resultados do dimensionamento do débito de ligação agregada para acesso à internet.

Tabela 13 - Dimensionamento do débito de ligação à internet

Aplicação	Débito nominal (Kbps)	Débito exceção (Kbps)	Nº de fluxos montante	Nº de fluxos jusante	Fator de simultaneidade	Débito total por aplicação (Kbps)
<i>Web Browsing</i>	500	1024	300	240	0,8	120.000
Conteúdo áudio	100	1024	300	240	0,8	24.000
<i>Streaming de vídeo</i>	2048	4096	300	240	0,8	491.520
Partilha de ficheiros	1024	2048	300	240	0,8	245.760
Necessidade total de débito na ligação agregada						881.280
Capacidade mínima da ligação						4.096
Margem de débito para evolução						118.720
Especificação de débito da ligação agregada						1000.000
Taxa nominal de utilização da ligação agregada						12 %

Como é possível verificar pela Tabela 13 chegamos a um débito de ligação agregada de 1Gbps. Deste modo seria importante a contratação de uma ligação de acesso à internet com esse débito assim como um equipamento de comunicação que garanta a escalabilidade da rede sem ter que se preocupar com a substituição do equipamento. A realização deste dimensionamento ainda assim é conservativa na medida em que se considera que 80% dos fluxos estão em atividade simultânea em cada aplicação.

Após definirmos a ligação agregada em termos de débito é importante para este cenário especificar o tipo de ligação. De forma a resolver problemas de velocidades baixas, ligações instáveis e sobrecarga na rede, seria crucial a utilização de um acesso prime dedicado em fibra ótica do tipo *Fiber To The Home* (FTTH) para ligar a rede local que suporta o Projeto dos Manuais Digitais nesta escola à internet. Embora o atual acesso à internet da escola tenha uma largura de banda contratada de 1Gbps de *download* e 100Mbps de *upload*, por se tratar de um acesso partilhado com uma utilização intensiva, estes valores nem sempre correspondem à velocidade real.

A principal distinção entre uma ligação partilhada e uma ligação dedicada está na forma como a rede local se conecta ao servidor que presta o serviço de internet. Num acesso partilhado, a nossa rede local é conectada indiretamente a um provedor de internet por meio de uma conexão comunitária que é disputada por muitos utilizadores. Embora seja um acesso mais económico e fácil de instalar, muitas vezes leva a ligações pouco estáveis, a quantidade de utilizadores influencia severamente a ligação, e a velocidade contratada é muito inferior à velocidade efetiva. Por vezes chegamos a ter apenas 10% do valor contratado. Já num acesso dedicado temos uma ligação direta da nossa rede ao provedor da internet. A largura de banda não é partilhada com mais ninguém além dos utilizadores desse circuito físico. Sendo uma conexão dedicada, o desempenho é sempre consistente e a confiabilidade é muito alta. Apesar do custo ser mais elevado e a instalação mais complexa, são garantidas ligações estáveis em que o débito contratado é visível. Além disso, métricas de desempenho como latência de rede, perda de pacotes, tempo de atividade e prazos de reparo também são assegurados o que garante QoS e QoE,

independentemente da hora do dia ou do número de utilizadores online na área de residência.

Terminado o dimensionamento do débito da ligação agregada da LAN e para acesso à internet, iremos passar à tarefa de especificação dos componentes da rede.

5.3.3 Especificação

Na tarefa de especificação foram definidos todos os requisitos tecnológicos dos componentes que a rede necessitará em termos de equipamento ativo, equipamento passivo e planos de gestão, manutenção, segurança e desempenho.

A rede necessitará dos seguintes equipamentos ativos:

- *Router*: Para garantir o acesso ao exterior e poderá desempenhar funções de *firewall* de forma a proteger contra intrusões na rede. Este equipamento deverá ter as seguintes características:
 - 8 interfaces Ethernet 10/100/1000 Mbps e 2 interfaces WAN
 - Capacidade de encaminhamento de 2Gbps
 - Suporte a encaminhamento estático e dinâmico incluindo os protocolos RIP, OSPF e BGP
 - Modulo de *software* para *firewall*, suporte de filtragem de pacotes por endereço/porto (*stateless packet filtering*) e por análise do fluxo de pacotes (*stateful packet filtering*)
 - Suporte de IPSec, SSL, VPN e encriptação por *hardware*
 - Suporte de mecanismos de qualidade de serviço e gestão de tráfego
 - Suporte de *multicasting*
 - Elevada eficiência energética das fontes de alimentação e capacidade para desligar interfaces não usadas
 - Montagem *rack* preferencialmente até 2U

- *Switch*: Para distribuir o cabeamento na infraestrutura local e dar suporte aos APs da rede sem fios. Este *switch* deve ter as seguintes características:
 - 52 portas 10/100/1000 Mbps, *full duplex*, *autosensing*
 - 2 portos *uplink/downlink*
 - Capacidade mínima de comutação de 16Gbps
 - Suporte a VLANs de acordo com a norma IEEE 802.1Q e de *trunking* de VLAN
 - Portos PoE
 - Possibilidade de gestão via Web, suporte SNMP, RMOM, porto de consola e porto serie auxiliar
 - Elevada eficiência energética das fontes de alimentação e capacidade para desligar interfaces não utilizadas
 - Montagem *rack* preferencialmente até 2U

- *Access Point (AP)*: Para garantir cobertura Wi-Fi nas salas e espaços comuns utilizados pelo Projeto dos Manuais Digitais. Estes deverão ter as seguintes características:
 - Suporte à norma IEEE 802.11ac ou superior
 - Antena omnidirecional
 - Para utilização interior
 - Alimentação através do cabo de ligação à rede (PoE)
 - Suporte de IEEE 802.11i e WPA2
 - Mecanismos de suporte de qualidade de serviço
 - Possibilidade de gestão de potências emitidas
 - Possibilidade de gestão via Web, suporte de SNMP
- *Uninterruptible Power Supply (UPS)*: Para garantir alimentação ininterrupta do equipamento de comunicações (router e *switch*).
 - Capacidade de 600 a 2000 VA
 - Proteção contra picos de corrente
 - Garantir funcionamento durante um período mínimo de 10 minutos
 - Tempo máximo de recarga de 10 horas
 - De montagem *rack*

Em termos de equipamento passivo necessitaremos de *patch panels* e chicotes para efetuar *patching* com os *switches* nos bastidores, cablagem para interligação dos equipamentos ativos, esteiras metálicas, caixas de passagem e calhas técnicas para realizar o caminho de cabos, tomadas ISO 8877 e chicotes para ligar os APs e outros equipamentos terminais. Segue-se a descrição dos componentes passivos:

- Patch Panel 19" 1U RJ45 52 Portas cat.6
- Chicotes S/UTP de 1.5m para *patching* de dados no bastidor
- Chicotes S/UTP de 3m para ligar aos equipamentos terminais
- Cabo S/UTP cat.6
- Guia de cabos
- Esteira metálica 200MM e acessórios para caminho de cabos
- Caixa de passagem
- Calha técnica branca simples e saliente
- Tomadas ISO 8877 cat.6 duplas
- Tomadas ISO 8877 cat.6 simples

Existem alguns fatores a nível de gestão, manutenção, segurança e desempenho que devem ser considerados nesta rede a curto/medio prazo.

De forma a termos uma melhor estrutura organizacional em termos de gestão é crucial existir sub-redes associadas a VLANs para definir regras de tráfego entre estas. Além do melhoramento em termos de gestão, a utilização das VLANs trazem vários benefícios de desempenho, segurança e de otimização da infraestrutur.

Para a gestão e manutenção da rede Wi-Fi era importante pensarmos na utilização de um *Wireless Lan Controller (WLC)* físico com processador e memória dedicada, que permita monitorizar e gerir uma grande quantidade de APs. Numa rede que tende a crescer pela

necessidade de cobertura Wi-Fi, exigirá de cada vez mais APs o que torna a gestão e manutenção mais difícil para os administradores da rede.

Além das interferências, dos problemas e das falhas internas, numa rede em que o principal propósito é o acesso à internet, os ataques estão inevitavelmente passíveis de acontecer. Por exemplo ataques DDoS, *phishing*, *rockit* e *ransomware*. É importante centralizar a gestão das atualizações, utilizar proteção antivírus em todos os sistemas e *end-points*. Além disso devemos criptografar todas as informações confidenciais, realizar backups regulares, minimizar ao máximo os privilégios dos utilizadores/serviços e utilizar autenticação de dois fatores. É também importante aplicar uma política de *passwords* com requisitos rigorosos de duração e complexidade, assim como exigir alterações de *passwords* regularmente.

A aplicação de uma camada extra de segurança neste projeto pode passar por proteger os equipamentos dos utilizadores de qualquer lugar em que estes acedam à internet. Uma possibilidade será integrar a *Cisco Umbrella*⁴² como projeto piloto. A *Cisco umbrella* é uma plataforma de segurança na *cloud* que fornece a primeira linha de defesa contra ameaças na internet e atua na camada DNS e IP, consegue identificar e bloquear sites com ameaças através da análise preditiva com base na inteligência *Talos*.

Esta rede exige um nível de disponibilidade elevado, como tal devem existir ligações redundantes e os de pontos de falhas únicos precisam ser eliminados de forma a garantir operacionalidade no caso de anomalia de uma ligação e/ou equipamento.

Dada a dependência de operacionalidade da internet é crucial que esta rede possua *failover* de WAN, um acesso à internet de backup para a ligação principal. Quando a ligação primária cai, o acesso secundário assume a sua função até que a ligação do acesso primário seja restabelecida. Se o acesso primário estiver funcional, o acesso secundário fica inativo. Podemos também optar por *load balance*, com a utilização dos 2 acessos ao mesmo tempo.

Em relação ao desempenho da WLAN é importante diminuir a potência de transmissão dos APs, direcionar a rede Wi-Fi para a banda de frequência dos 5 GHz e utilizar *WhiteLists*. O recurso *band steering* é atrativo no sentido que permite definir que o AP priorize as conexões dos dispositivos clientes na banda dos 5Ghz. Com isto vamos garantir taxas de transmissão mais elevadas e menos interferência na banda dos 2.4Ghz. Diminuir a potência de transmissão deve-se ao facto dos rádios dos dispositivos cliente normalmente possuírem cerca de metade da potência de transmissão do AP, suscitando problemas de energia assimétrica em que o sinal do AP chega ao cliente, mas o sinal do cliente não chega ao AP. Ao trabalharmos com células menores, garantimos maior performance na nossa BSS. De forma a limitar a utilização da rede Wi-Fi aos equipamentos alvo de utilização no projeto dos Manuais Digitais, pode ser benéfico criar uma *WhiteList* com os *MACaddresses* desses dispositivos. Com esta lista garantimos menos sobrecarga na rede por parte de utilizadores indesejados. Estas configurações são exemplificadas no Anexo K – Configurações.

Após dimensionada a rede Wi-Fi, dimensionados os débitos das ligações e especificados todos os componentes da infraestrutura, iremos passar ao desenho da solução.

⁴² Cisco Umbrella - <https://umbrella.cisco.com/>

5.3.4 Desenho da solução

O desenho da solução tem como objetivo ilustrar e clarificar tudo o que já foi definido anteriormente na fase de Projeto da Rede. Nesta tarefa é elaborada uma tabela com as quantidades dos componentes a instalar, o desenho do diagrama da rede e os traçados da cablagem com a localização dos APs nas plantas do edifício.

Começamos por apresentar na Tabela 14 as medições e especificações das quantidades dos componentes a instalar na rede.

Tabela 14 - Definição dos componentes a instalar na rede

Componente	Quantidade
Router 8 interfaces Ethernet 10/100/1000 Mbps e 2 interfaces WAN, 2Gb (ex. Router Cisco ISR 4431)	1
Switch 52 portas 10/100/1000 Mbps, 2 portas <i>uplink/downlink</i> (ex: Switch Cisco SG350 52 Portas)	1
Patch Panel 19" 1U RJ45 48 Portas CAT6	2
Cabo S/UTP cat.6 (16 Pontos de rede)	~1400m
Chicotes S/UTP de 1.5m para <i>patching</i> de dados no bastidor	24
Chicotes S/UTP de 3m para ligar aos equipamentos terminais	24
Esteira metálica 200MM e acessórios para caminho de cabos	~800m
Caixa de passagem	15
Guia de cabos	8
Calha técnica branca simples e saliente	26
Tomada ISO 8877 cat.6 simples	24
Tomada ISO 8877 cat.6 dupla	24
Access Points indoor IEEE 802.11ac ou superior (ex: <i>aruba Alcatel 303 RW</i>)	16
UPS Capacidade de 600 a 2000 VA (ex: <i>Net Power NPW</i>)	1
Acesso dedicado fibra@internet 1000Mbps/100Mbps	1

De forma a demonstrar a organização da rede é apresentado na Figura 36 o diagrama da rede projetada para a Escola Básica e Secundária Gonçalves Zarco com as alterações face à sua organização inicial. No desenho da solução, em termos de equipamentos ativos, foram utilizados como modelos equipamentos de fabricantes que são utilizados na escola, com as características tecnológicas que foram definidas na tarefa de especificação.

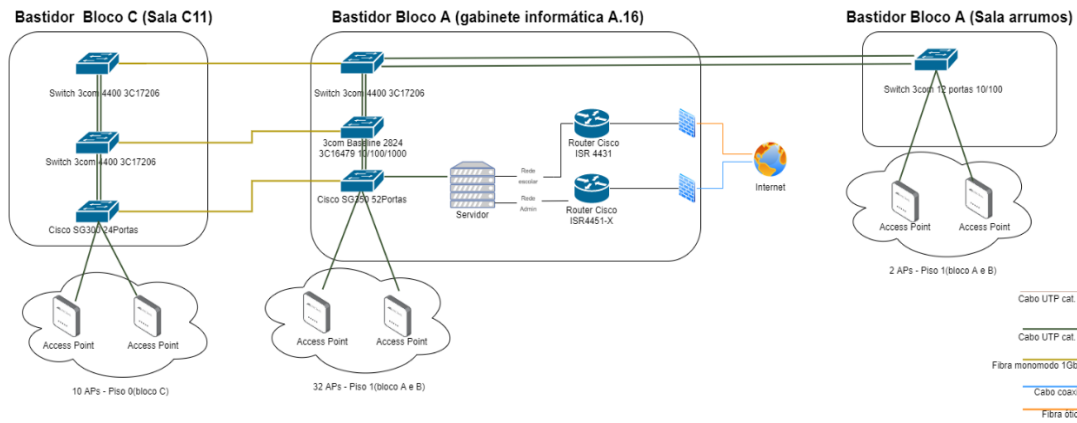


Figura 36 - Diagrama de rede projetada para a Escola Básica e Secundária Gonçalves Zarco

Em relação ao equipamento ativo, deverá ser instalado um *switch* de 52 portas 10/100/1000 Mbps (por ex: Cisco SG350 de 52 portas) no local onde se encontra atualmente o *switch* Cisco SG300 de 24 portas, no bastidor do gabinete de informática do bloco A. O *switch* Cisco SG300 de 24 portas consequentemente vai para o bastidor do Bloco C para servir os APs deste bloco. A ligação entre estes *switches* deverá ser feita em fibra monomodo de 1Gbps. Além disso deve ser instalado um novo router 8 interfaces Ethernet 10/100/1000 Mbps e 2 interfaces WAN, 2Gb (por ex: Cisco ISR 4431) que vai receber a ligação do acesso dedicado à rede que suporta o Projeto dos Manuais Digitais. Em termos de equipamentos passivos, para melhorar a organização e gestão da rede, deverão ser instalados *patch panels* nos bastidores e efetuado o caminho dos cabos UTP cat.6 em esteiras metálicas/calhas técnicas com caixas de distribuição para organizar e distribuir os vários cabos para as respetivas tomadas de rede. As tomadas duplas devem ser sempre instaladas perto de uma tomada de energia tripla e numeradas para conseguirem ser identificadas univocamente. Serão naturalmente instalados mais APs *indoor* IEEE 802.11ac ou superior (por ex: aruba Alcatel 303 RW) dos quais 13 destinam-se a cobrir salas do bloco A e bloco B, estes devem ser ligados ao *switch* de 52 portas do bastidor do gabinete de informática do bloco A. Serão também instalados 3 novos APs em salas do bloco C que devem ser ligados ao *switch* SG300 de 24 portas do bastidor do bloco C. A ligação entre os 2 *switches* do bloco A deverá ser substituída de cabo UTP cat.5 que apenas permitia ligações a 100Mbps até 100 metros para cabo UTP cat.6 que permite velocidades de 1Gbps até 100 metros. De forma a aumentar a disponibilidade da rede e evitar pontos de falhas únicos são propostas algumas ligações redundantes entre os *switches* e uma UPS para garantir alimentação ininterrupta do equipamento de comunicações nomeadamente do router e do *switch*.

Os traçados da cablagem com a definição do *layout* dos APs no ambiente são apresentados no Anexo G – Cablagem e *layout* dos APs no ambiente.

Podemos verificar que todas as tarefas especificadas no processo para esta fase foram aplicadas sem limitações e considera-se os recursos utilizados fundamentais para a correta realização destas tarefas. A aplicação da fase de projeto desta forma permitiu especificar todos os componentes necessários para a elaboração do documento Projeto que é esperado no final desta fase e cujo *template* é exemplificado no Anexo I.3 - Documento Projeto.

Terminada a aplicação da fase de projeto da rede, passamos agora à fase do Plano de Implementação.

5.4 Plano de Implementação

Da mesma forma como foi definido no processo proposto, para realizar esta fase utilizamos o documento Projeto obtido na fase anterior e os planos de investimento. Nesta fase definimos um orçamento consoante os investimentos disponíveis, especificamos o plano e o cronograma de trabalhos a realizar.

O plano de investimentos disponível condicionou a implementação completa da solução especificada na fase de Projeto da Rede e desta forma tiveram que ser tomadas algumas decisões referentes à prioridade de implementação do projeto no presente ano letivo.

Como tal optou-se por instalar apenas os equipamentos estritamente necessários para a rede suportar os utilizadores de 5º e 6º ano. Deixo a nota que a curto/médio prazo a restante solução apresentada deve ser revista e ponderada para que se consiga ter uma rede estável e que garanta QoS e QoE face à quantidade crescente de utilizadores que integram o projeto, o consequente aumento no número acessos simultâneos, requisitos aplicativos bem como o foco nos aspetos de gestão, manutenção, segurança e desempenho que este tipo de rede necessita. O orçamento para os componentes que decidiram ser instalados é apresentado na Tabela 15.

Tabela 15 - Orçamento do equipamento e serviços para Escola Básica e Secundária Gonçalves Zarco

Componente	Quantidade	Valor
Switch Cisco SG350 52 portas	1	643,00 €
Cabo S/UTP cat.6 (16 Pontos de rede) + calha técnica branca simples e saliente	~1400m	2066,00 €
Access Points Aruba Alcatel 303 RW	16	275,00 €
Instalação e configuração Access Point	16	18,00 €
Instalação e configuração Switch	1	85,00 €
Deslocação	2	37,00 €
Total		7.556,00 €

Como é possível visualizar na Tabela 15 optou-se por orçamentar os APs para cobrir as salas que vão lecionar os 5ºs e 6ºs anos bem como alguns espaços comuns, um *switch* para acomodar esta crescente quantidade de APs e a respetiva cablagem. O restante orçamento corresponde a serviços de instalação e configuração dos componentes especificados anteriormente. O orçamento completo final para as infraestruturas que irão suportar o Projeto dos Manuais Digitais no presente ano letivo 2020/2021 pode ser visualizado no Anexo H – Orçamento.

Após definido o orçamento foram realizados os planos de trabalho e cronogramas dos mesmos. Para definir os planos de trabalho e os cronogramas foi importante ter em conta as condicionantes temporais e operacionais que o projeto apresenta. Desta forma foi crucial assegurar que os trabalhos ficavam concluídos antes do início do ano letivo 2020/21 e que eram agendadas datas de intervenção que não coincidissem com atividades

letivas em vigor para não prejudicar o seu normal funcionamento. O plano de trabalhos e cronograma dos mesmos são apresentados de forma breve na Tabela 16.

Tabela 16 - Plano e cronograma dos trabalhos a realizar

Descrição da tarefa	Equipa	Data
Passagem de cabo UTP cat.6 para 8 Pontos de rede com calha técnica branca simples e saliente, cravar fichas e identificar cabos	Viatel	29-07-2020
Passagem de cabo UTP cat.6 para 8 Pontos de rede com calha técnica branca simples e saliente, cravar fichas e identificar cabos	Viatel	30-07-2020
Instalação e configuração dos <i>switches</i> e <i>Access Points</i>	Meo Serviços Técnicos	01-08-2020
Instalação e configuração dos <i>switches</i> e <i>Access Points</i>	Meo Serviços Técnicos	01-08-2020

Como a solução prendeu-se com a passagem da cablagem e com a instalação e configuração dos equipamentos, o plano de trabalhos dividiu-se essencialmente em duas partes: a parte da instalação da cablagem que foi realizada pela Viatel e a instalação e configuração dos equipamentos que foi efetuada pela MEO Serviços Técnicos. A nível de trabalhos, foram alocados 3 dias para a realização destes serviços. Dois dias foram destinados para a passagem de cabo UTP cat.6 de 8 pontos com calha técnica branca simples e saliente dos bastidores do bloco A e do bloco B até à localização dos APs, cravar as fichas RJ45 e identificar a passagem dos cabos. O terceiro dia foi alocado para a instalação e configuração dos *switches* e *Acess Points*.

Embora o plano de investimentos tenha condicionado a definição da solução completa, todas as tarefas especificadas no processo para esta fase foram aplicadas e conseguimos definir o orçamento, o plano e o cronograma dos trabalhos a implementar. Realizar a fase desta forma permitiu especificar todos os componentes necessários para elaborar o documento Plano de Implementação que é esperado no final desta fase e cujo *template* é apresentado no Anexo I.4 - Documento Plano de Implementação.

Concluída a aplicação da fase do Plano de Implementação, passamos agora à fase do Acompanhamento da Implementação.

5.5 Acompanhamento da Implementação

Os recursos utilizados para realizar esta fase foram os documentos produzidos nas duas fases anteriores, nomeadamente o documento Projeto e o documento Plano de Implementação. Nesta fase foi dado auxílio às equipas que realizaram a implementação no terreno com o esclarecimento das opções tomadas e no apoio à instalação.

Foram realizados diálogos diários com as equipas de implementação de forma a saber o ponto de situação da instalação e para o esclarecimento de dúvidas técnicas relativas à solução a implementar.

Na Escola Básica e Secundária Gonçalves Zarco deparamo-nos com uma dificuldade acrescida na passagem da cablagem para alguns dos pontos de rede, o que levou à alteração dos cronogramas de trabalhos, exigiu a alocação de mais um dia para finalizar esta tarefa e conseqüente no adiamento das tarefas de instalação e configuração dos equipamentos que se prosseguiam. Ainda assim a implementação foi concluída na sua totalidade dentro dos prazos que foram estabelecidos posteriormente e antes da data-limite definida nas condicionantes temporais do projeto.

Devido a limitações de recursos humanos, no decorrer da implementação não foram realizadas ações de fiscalização específicas por um membro da escola, a fiscalização foi feita apenas por parte empresa instaladora.

A aplicação desta fase nestes moldes com estas tarefas e ações associadas permitiu documentar e acompanhar a implementação. O *template* do relatório esperado no final desta fase é apresentado no Anexo I.5 - Relatório Estado de Implementação. Neste relatório são fornecidos os pontos de situação da instalação na escola, as dificuldades pontuais que surgiram, as alterações nos cronogramas de trabalhos e a descrição do estado final da implementação.

É possível constatar que a fase de Acompanhamento da Implementação foi parcialmente aplicada nesta escola, visto que a tarefa de fiscalização não foi realizada. Ainda assim consideram-se úteis todas as tarefas especificadas no processo para esta fase. A tarefa de fiscalização será importante na implementação global da solução para garantir que as especificações dos componentes a instalar são cumpridas.

Terminada a aplicação da fase de Acompanhamento da Implementação, passamos agora à fase da Validação da Implementação.

5.6 Validação da Implementação

A fase de validação da implementação foi feita com recurso ao documento Projeto, ao relatório Estado da Implementação, às plantas do edifício e ao sistema de *survey*.

Nesta fase foram realizadas as tarefas de validação da rede Wi-Fi e os testes. A validação da rede Wi-Fi é aplicada na secção 5.6.1 e os testes na secção 5.6.2. Seguidamente é apresentada a forma como foi feita a validação da rede Wi-Fi após a instalação e configuração dos APs na Escola Básica e Secundária Gonçalves Zarco, os resultados obtidos e a análise dos mesmos.

5.6.1 Validação da rede Wi-Fi

Para validar a rede Wi-Fi implementada foi realizado um *survey* ativo e passivo de forma semelhante à apresentada na fase de Validação da Rede às salas de aula e espaços comuns em que foram instalados novos APs. Como já vimos anteriormente, a realização do *survey* é muito importante ao longo de todo o processo de planeamento das redes para o Projeto dos Manuais Digitais. Na fase de validação, este é crucial para verificar o estado atual da rede e identificar eventuais problemas. Na fase de projeto o *survey* é importante para dimensionar uma rede tendo em conta a cobertura e a capacidade, ajuda-nos a definir o tamanho da célula dos APs bem como o *layout* dos mesmos no ambiente. Nesta fase,

após a rede estar implementada, a realização do *survey* é essencial para verificar se a rede se encontra a funcionar da forma que foi planeada inicialmente.

Este *survey* permitiu verificar a cobertura adequada nas salas e espaços comuns, bem como identificar alguns problemas que persistem na rede após a instalação. Seguidamente vamos analisar o *survey* realizado no piso 1 do bloco B. Na Figura 37 é apresentado o *heatmap* do RSSI do *survey* realizado às salas e espaços comuns no piso 1 do bloco B onde foram instalados APs.

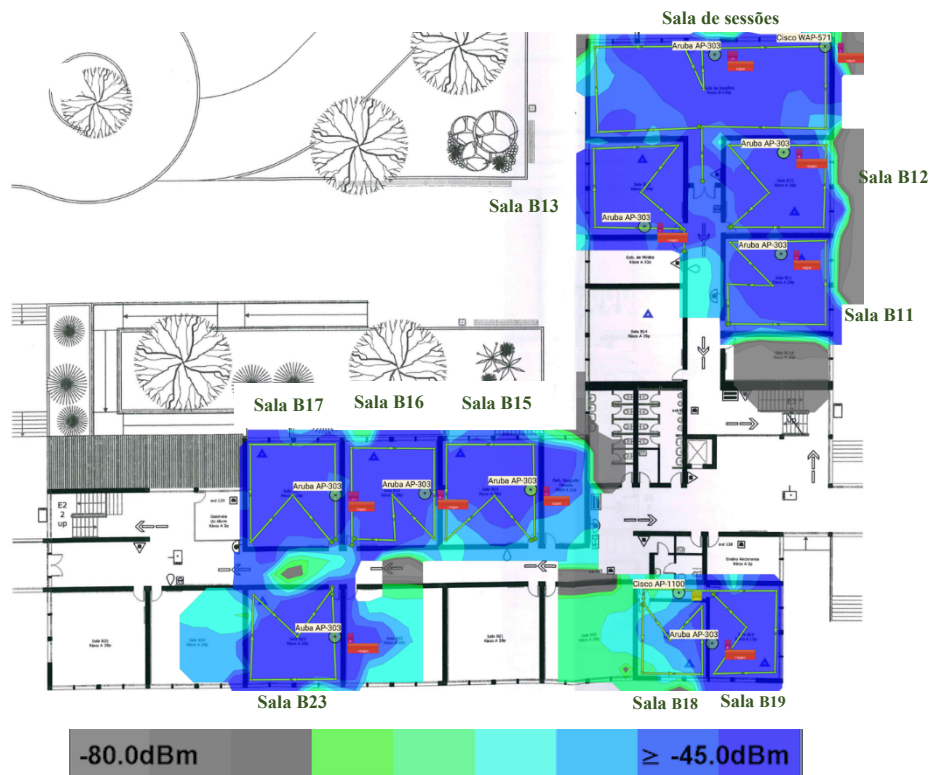


Figura 37 - Heatmap relativo ao RSSI no piso 1 Bloco B

A observação ao *heatmap* do RSSI nas salas e espaços comuns onde foram instalados APs permitiu verificar que:

- As salas B11, B12, B13, B15, B16, B17, B19 e B23 registaram ótimos níveis de sinal maioritariamente superior a **-45dBm** com 1 AP por sala.
- A sala B18 apresentou valores entre os **-60dBm** e os **-55dBm** nas suas extremidades, ainda assim com níveis de sinal bastante satisfatórios. Esta sala de aula registou valores ligeiramente inferiores às restantes salas pelo facto do AP estar instalado na sala adjacente. O *layout* adotado neste cenário é atípico na escola dado que as paredes que separam estas duas salas são diferentes das restantes. O material é notoriamente menos espesso e a atenuação é muito inferior, desta forma o *layout* utilizado de 1 AP para 2 salas funciona neste caso.
- A sala de sessões também mostrou estar bem coberta, como pior caso registou-se valores entre os **-55dBm** e os **-50dBm**.

Após analisado o RSSI neste piso, iremos observar o parâmetro do *throughput*. A Figura 38 mostra o *heatmap* do *throughput* no piso 1 do bloco B.



Figura 38 - Heatmap relativo ao Throughput no piso 1 Bloco B

É possível verificar que tanto nas salas de aula como na sala de sessões deste piso foram instalados APs *Alcatel aruba 303* que estão a operar na norma IEEE 802.11ac com uma largura de canal de 80Mhz. Desta forma registaram-se valores de *throughput* maioritariamente superiores a **646Mbps**. No entanto é importante recordar que o *EkaHau* não efetua medições efetivas ao *throughput* dado que o *input* utilizado pelo *software* no *survey* ativo é o *ping*. Para realizar um *survey* com base no *throughput* é necessário utilizar um servidor do tipo *iPerf* que requer uma ligação Ethernet e não é comodo na realização de um site *survey* a uma WLAN onde precisamos de efetuar medições no espaço livre, que requer capacidade de mobilidade.

Vamos agora analisar o parâmetro relativo ao SNR. A Figura 39 ilustra o *heatmap* do SNR no primeiro piso do bloco B.



Figura 39 - Heatmap relativo ao SNR no piso 1 Bloco B

Com a análise ao *heatmap* relativo ao SNR no piso 1 do Bloco B é possível comprovar que se registaram ótimos valores de SNR, tanto nas salas como nos espaços comuns. São apresentados valores sempre superiores a **40dB** dentro destas zonas. Os valores de SNR obtidos são adequados tanto para uma ligação de dados como também para uma ligação de voz.

Após analisados os principais parâmetros que caracterizam a qualidade da rede Wi-Fi nomeadamente o RSSI, *throughput* e SNR, passamos à análise do parâmetro *network issues* que nos motra os principais problemas identificados com o *survey*. O *heatmap* relativo a este parâmetro é apresentado na Figura 40.



Figura 40 - Heatmap relativo ao *Network Issues* no piso 1 Bloco B

Com a análise ao *heatmap* do parâmetro *Network Issues* verificamos alguma falta de cobertura nos corredores e em zonas que não são alvo de utilização para o Projeto dos Manuais Digitais, algo que não representa um problema para a rede em questão. O principal problema identificado no *pós-survey* neste cenário tem a ver com o *Loss*, dado que se registou uma perda de pacotes superior a 2% nas salas B15, B16, B17, B18, B19 e B23.

O modo de pesquisa ativa utilizado no *EKahau* é o *ping*, este mede a latência da rede e o número de pacotes perdidos. A perda de pacotes ocorre quando o ESS não consegue receber um pacote de resposta ICMP ao pacote de solicitação ICMP do host de destino ou quando os pacotes UDP são perdidos durante o teste de taxa de transferência. A perda de pacotes pode ser causada por vários fatores como: interferência, congestionamento no meio, pacotes corrompidos, problemas de *hardware* ou *drivers* desatualizados. Neste caso específico, como não existe sobreposição de canais, a interferência é baixa e o teste foi feito com relativamente poucos utilizadores na rede, considera-se que o problema pode estar relacionado com pacotes corrompidos e/ou problemas de *hardware/drivers*. Seria importante verificar o correto funcionamento dos APs e se estes estão a utilizar o *firmware* mais recente.

O restante *pós survey* pode ser encontrado no Anexo F - Pós-survey ativo e passivo. Concluída a tarefa de validação da rede Wi-Fi implementada passamos aos testes na rede cablada.

5.6.2 Testes

Após a verificação ao estado da rede Wi-Fi, são agora realizados alguns testes de velocidade e estabilidade à rede cablada com a medição do *download*, *upload* e latência.

Na Tabela 17 são apresentados alguns testes que foram realizados a diferentes horas do dia na Escola Básica e Secundária Gonçalves Zarco utilizando o NET.mede ⁴³.

Tabela 17 – Registo final de parâmetros relativos à rede cablada

Data	Hora	Download (Mbps)	Upload (Mbps)	Latência (ms)	Utilizadores
2020/10/05	09h00	100,0	90,0	24	200
2020/10/05	11h00	420,4	80,7	12	140
2020/10/05	11h30	400,4	90,2	22	120
2020/10/05	12h30	52,5	92,9	24	110
2020/10/09	14h00	700,0	94,3	20	100
2020/10/09	15h30	67,9	35,8	30	150
2020/10/09	17h00	440,7	78,2	15	170
2020/10/09	17h30	300,4	76	13	240

Nestes testes finais à rede cablada foram registadas algumas velocidades razoáveis, mas continuam a verificar-se flutuações, principalmente na velocidade de *download*. A velocidade instantânea parece boa, obteve-se testes com valores de 700Mbps de *download*, no entanto em outros testes registamos valores de 67,9Mbps ou mesmo de 52,5Mbps. Ainda assim considera-se que foram feitas poucas medições, deveriam ter sido realizados mais testes e de forma contínua de modo a obter conclusões mais concretas.

A aplicação da fase de Validação da Implementação permitiu validar a rede Wi-Fi e a rede cablada. Conseguimos aplicar a grande maioria das tarefas que foram definidas no processo para esta fase. No entanto deparamo-nos com a limitação na tarefa de certificação que foi especificada no processo proposto para verificar a conformidade da instalação com as normas de cablagem internacionais. Esta tarefa não foi realizada porque não havia um equipamento específico para o efeito. Ainda assim admite-se que todas as tarefas definidas para a realização desta fase são essenciais numa validação completa do correto funcionamento da rede implementada e deve ser feito um esforço inicial para garantir todos os recursos necessários à sua operação.

O processo proposto termina com a fase de Validação da Implementação descrita anteriormente. Posteriormente surge a fase operacional que requer outros processos de gestão e de segurança para manter o bom funcionamento da rede. O ambiente numa rede Wi-Fi é suscetível de mudança contínua, ao longo do tempo surgem novos utilizadores, equipamentos e aplicações. Além das interferências, dos problemas de cobertura, de capacidade e das falhas internas, numa rede em que o principal propósito é o acesso à

⁴³ Net.mede - <https://netmede.pt/>

internet, os ataques estão inevitavelmente passíveis de acontecer. Como tal é importante adotar boas práticas de gestão e de segurança para conseguirmos atingir um ambiente controlado e com um nível de segurança elevado.

5.7 Conclusão

Neste capítulo foi demonstrada a aplicação prática do processo de análise, planeamento e implementação que foi definido no capítulo 4, utilizando como modelo a Escola Básica e Secundária Gonçalves Zarco. Foram apresentados os recursos utilizados para a realização de cada fase, as tarefas efetuadas, os resultados obtidos e as limitações na aplicação do processo nesta escola.

O processo proposto é composto por seis fases: a fase Problemas e Requisitos, Validação da Rede, Projeto de Rede, Plano de Implementação, Acompanhamento da Implementação e Validação da Implementação. Para cada fase existe um conjunto de recursos que são necessários, uma série de tarefas associadas e um documento final que deverá ser produzido. Seguidamente faremos um apanhado geral de cada fase e de como foi implementá-las no caso de estudo desta escola.

A primeira fase, designada de Problema e Requisitos, para ser realizada de forma adequada e completa deve receber como *inputs* as plantas do edifício, contratos de serviços de telecomunicações e manuais técnicos. Estes recursos, em complemento com as visitas às instalações das escolas e o diálogo com os intervenientes no projeto devem permitir caracterizar a infraestrutura física, os utilizadores e as aplicações, as infraestruturas de rede, identificar os condicionantes, os problemas e definir os requisitos. No final deve ser gerado o documento Problema e Requisitos com estes componentes. As tarefas desta fase foram feitas antes do processo estar definido, o que nos ajudou à definição dos primeiros passos do processo, mas após este estar totalmente estabelecido, todas as tarefas foram revistas para verificar se estávamos a cumpri-lo adequadamente. A tarefa de caracterização da rede cablada não foi realizada de forma completa pela ausência de manuais técnicos que auxiliassem a obter uma descrição física mais detalhada em termos da rede cablada e identificar ao detalhe o caminho de cabos utilizados atualmente na escola. Ainda assim foi elaborado o diagrama físico da rede e descrita a sua organização em termos de equipamento ativo e passivo. As restantes tarefas identificadas no processo para esta fase foram realizadas de forma integral e não existiu nada que considerássemos não fazer sentido aplicar. A realização desta fase nestes moldes, com todas as tarefas e ações associadas, permitiu reunir todos os componentes necessários para elaborar o documento esperado no final desta fase e cujo *template* é ilustrado no Anexo I.1 - Documento Problema e Requisitos.

A realização da segunda fase, intitulada de Validação da Rede, exige o documento Problema e Requisitos, as plantas do edifício, o sistema de *survey* e os relatórios de tráfego. Com estes recursos realizamos a tarefa de validação da rede Wi-Fi e validação da rede cablada. No final deve ser produzido o relatório de Validação da Rede com a análise dos parâmetros observados. A aplicação desta fase neste caso de estudo foi feita de forma parcial pelo surgimento de algumas limitações. Na tarefa de validação da rede cablada sentimos algumas limitações na parte da análise do tráfego devido ao facto de nos faltar os relatórios de tráfego e pelas condições existentes na altura impossibilitarem a análise do tráfego de uma forma adequada. Este planeamento coincidiu com o pico da pandemia motivada pela COVID-19 na RAM e conseqüente confinamento, o que limitou

a instalação de uma estação de monitorização na escola, no limite iríamos obter dados atípicos que não correspondiam ao tráfego real porque as aulas presenciais estavam limitadas. Ainda assim a tarefa de validação da rede Wi-Fi conseguiu ser realizada na sua totalidade com os *surveys* ativos e passivos aos espaços alvo de utilização no Projeto dos Manuais Digitais. A aplicação desta fase permitiu-nos recolher os principais componentes para elaborar o relatório pretendido, o seu *template* pode ser visualizado no Anexo I.2 – Relatório Validação da Rede.

Para realizar de forma integral a terceira fase, designada de Projeto da Rede, é necessário o documento Problema e Requisitos, o relatório de Validação da Rede, as plantas do edifício e o sistema de *survey*. Nesta fase é feito o dimensionamento das ligações agregadas, o dimensionamento da rede Wi-Fi, a especificação e o desenho da solução. Com a realização desta fase devemos produzir o documento Projeto. No que toca à aplicação desta fase no caso de estudo, podemos verificar que todas as tarefas especificadas no processo para esta fase foram aplicadas sem limitações e considera-se os recursos utilizados fundamentais para a correta realização de todas as tarefas. A aplicação da fase de projeto desta forma permitiu especificar todos os componentes necessários para a elaboração do documento ambicionado no final da mesma, o seu *template* é ilustrado no Anexo I.3 - Documento Projeto.

A quarta fase, intitulada de Plano de Implementação, requer o documento Projeto obtido na fase anterior e os planos de investimento para a sua completa operação. Nesta fase é realizado o orçamento, o plano e o cronograma dos trabalhos a realizar. No final desta fase devemos produzir o documento Plano de Implementação. A aplicação desta fase do processo na escola foi efetuada na sua totalidade. Embora o plano de investimentos tenha condicionado a definição da solução completa, todas as tarefas especificadas no processo para esta fase foram aplicadas e conseguimos definir o orçamento, o plano e o cronograma dos trabalhos a conceber. Realizar a fase desta forma permitiu especificar todos os componentes necessários para elaborar o documento objetivo. O *template* desse documento é apresentado no Anexo I.4 - Documento Plano de Implementação.

A implementação da quinta fase do processo proposto, designada de Acompanhamento da Implementação, requer o documento Projeto e o documento Plano de Implementação. Nesta fase são realizadas as tarefas de apoio à implementação e de fiscalização da instalação. No final deve resultar um relatório intitulado de Estado da Implementação. É possível verificar que a fase de Acompanhamento da Implementação foi parcialmente aplicada nesta escola. Durante a instalação da solução não foram feitas ações de fiscalização específicas por alguém da escola, devido a condicionantes de recursos humanos a fiscalização foi feita apenas por parte empresa instaladora. Ainda assim consideram-se úteis todas as tarefas especificadas no processo para esta fase. A tarefa de fiscalização será importante na implementação global da solução, de forma a garantir que as especificações dos componentes a instalar são cumpridas. Realizar a fase de Acompanhamento da Implementação com todas tarefas e ações associadas permite documentar, acompanhar a implementação e produzir o relatório esperado no final desta fase. O *template* desse relatório é ilustrado no Anexo I.5 - Relatório Estado de Implementação.

A sexta fase, denominada de Validação da Implementação, requer o documento Projeto, o relatório Estado da Implementação, equipamento de certificação da cablagem, plantas do edifício e sistema de *survey*. Nesta fase é realizada a validação da rede Wi-Fi

implementada, testes e certificação. No final deve ser elaborado o relatório de Validação da Implementação. Conseguimos aplicar a grande maioria das tarefas que foram definidas no processo para esta fase, no entanto surgiram algumas limitações. Na tarefa dos testes de velocidade e estabilidade à rede, embora se tenha registado muitas flutuações, considera-se que foram feitas poucas medições, deviam ser feitos testes constantes para tirar conclusões mais concretas. Além disso deparamo-nos com a limitação na realização da tarefa de certificação, esta foi impossibilitada pela falta de equipamento apropriado para o efeito. Os recursos propostos para a realização desta fase mostraram-se convenientes e as tarefas adequadas para a correta validação da rede Wi-Fi e da rede cablada. As tarefas desta fase permitem obter um relatório idêntico ao que foi produzido na fase de Validação da Rede.

A realização deste caso de estudo permitiu verificar que todas as fases, as tarefas e as ações propostas no capítulo 4 - Processo de Análise, Planeamento e Implementação, fazem sentido em contexto real de utilização e, na sua grande maioria, conseguiram efetivamente ser aplicadas. Ao longo da aplicação do processo não houve nada que considerássemos não fazer sentido aplicar. Embora não tivesse sido possível aplicar algumas tarefas devido a limitações que foram encontradas no decorrer do planeamento, considera-se que as tarefas e ações identificadas no processo são adequadas e recomendadas. A indisponibilidade dos *inputs* foi a principal limitação na aplicação do processo na Escola Básica e Secundária Gonçalves Zarco. Desta forma considera-se fundamental que exista um esforço adicional para garantir que todos os recursos sejam fornecidos e que sejam asseguradas boas condições para a aplicação da totalidade do processo. O processo proposto mostrou-se adequado para resolver o problema na Escola Básica e Secundária Gonçalves Zarco tendo em consideração as suas características físicas e os seus recursos humanos. Este funciona como um guia simplificado para um processo complexo que auxilia o planeamento das redes nesta escola. O processo proposto permite à escola realizar um planeamento adequado tendo em conta as necessidades dos utilizadores, os requisitos aplicacionais e com foco nas questões de gestão, manutenção, segurança e desempenho. Além disso, a adoção do processo possibilita economizar tempo e recursos no planeamento das redes para suportar o Projeto dos Manuais Digitais.

Considera-se que a realização deste caso de estudo foi crucial para validar o processo em termos práticos e verificar a relevância de cada fase com todos os *inputs*, os *outputs*, as tarefas e ações associadas. No entanto, num futuro próximo, seria importante efetuar mais casos de estudo nas restantes escolas da RAM de forma a consolidar a coerência do processo assim como a sua eficácia em contexto real de utilização. Os recursos técnicos e financeiros variam entre as escolas e como tal era importante entender a adaptação do processo e moldá-lo aos seus recursos.

6 Conclusões e trabalhos futuros

Como forma conclusiva, neste capítulo é feita uma retrospectiva do trabalho efetuado até aqui. Na secção 6.1 é apresentada uma síntese do trabalho realizado e dos resultados obtidos, na secção 6.2 são abordados alguns exemplos de trabalhos futuros que poderão ser feitos na sequencia deste projeto para melhorar o processo que foi apresentado e por fim na secção 6.3 são feitas algumas considerações finais do que foi realizar este projeto, a sua importância e conhecimento assimilado com a realização do mesmo.

6.1 Síntese e principais conclusões

Neste projeto de mestrado foi desenvolvido e aplicado um processo de análise, planeamento e implementação para as redes do Projeto dos Manuais Digitais com foco na sua rede de área local sem fios (sigla do inglês *Wireless Local Area Network*, WLAN).

Este trabalho começou com o estudo teórico da evolução das normas do padrão IEEE 802.11 em que se baseia o Wi-Fi e foram abordados vários tópicos fundamentais a considerar no planeamento de uma WLAN por cobertura e por capacidade. Esta parte inicial do trabalho foi fundamental para entender alguns aspetos basilares na tecnologia Wi-Fi e que são importantes considerar no planeamento de uma WLAN nomeadamente o tamanho da célula do AP, a potência de transmissão, a taxa de dados, a área de cobertura, o roaming, o *layout* do canal, entre outros.

Seguidamente foi efetuada uma pesquisa de projetos relacionados com a digitalização do ensino a nível nacional e internacional com o intuito de verificar de que forma as redes de comunicação de dados estão relacionadas com os projetos de digitalização do ensino, bem como a sua influência na aprendizagem. Foi possível verificar que existe muita literatura sobre projetos relacionados com a digitalização do ensino, mas numa abordagem mais educacional realçando vantagens e desvantagens desta metodologia de aprendizagem no ensino, no entanto não existe qualquer referência às redes que os suportam. Algumas semelhanças em projetos desta natureza no que toca a um grande número de acessos simultâneos, a existência de aulas síncronas, utilizadores com diferentes dispositivos móveis e fixos, aplicações que exigem elevada largura de banda e baixa latência, grande probabilidade de escalar em termos de utilizadores e de aplicações, mostram a importância de redes resilientes, que garantam o número e tipo de utilizadores, as necessidades aplicacionais bem como especial atenção nos aspetos de gestão, manutenção, segurança e desempenho. As redes de comunicação de dados estão diretamente relacionadas com este tipo de projetos porque asseguram o acesso com qualidade de serviço dos equipamentos aos conteúdos digitais.

Após esta primeira parte teórica que compõe o estado da arte do trabalho, passamos à caracterização do problema que levou à realização deste estudo, a necessidade de analisar as infraestruturas atuais das escolas bem como projetar redes que suportem o Projeto dos Manuais Digitais com qualidade de serviço e de utilização no acesso dos dispositivos aos conteúdos pedagógicos de carácter digital. De grosso modo inicialmente fomos às escolas sem ter um processo definido, mesmo tendo algum conhecimento em redes e *surveys* foram sentidas dificuldades porque não sabíamos bem por onde começar, o que fez com que demorássemos mais tempo e dependêssemos maior atenção em determinadas tarefas

que não eram tão importantes quanto outras. Por exemplo, na fase Problema e Requisitos, considera-se ter perdido demasiado tempo em caracterizar a rede Wi-Fi em termos de equipamentos utilizados e o seu *layout* no ambiente, esta tarefa não necessita ser tão exaustiva numa fase inicial porque será validada posteriormente com a realização dos *surveys* ativos e passivos no ambiente na fase de Validação da Rede.

O planeamento das redes para o Projeto dos Manuais Digitais de forma *ad hoc*, no sentido em que não existia um processo definido para seguir, em complemento com uma reflexão posterior permitiu elaborar um processo claro, preciso e completo nos pontos fundamentais ao planeamento destas redes, composto essencialmente por seis fases: a fase Problema e Requisitos, Validação da Rede, Projeto da Rede, Plano de Implementação, Acompanhamento da Implementação e Validação da Implementação. O processo foi criado utilizando uma metodologia comum no planeamento de projetos de sistemas de informação, mas adaptado a um projeto de engenharia de redes informáticas. Como a maioria dos equipamentos que utilizam o Projeto dos Manuais Digitais são móveis, o processo é focado na sua rede de área local sem fios e orientado na avaliação das capacidades necessárias ao suporte dos utilizadores, aplicações e nas questões de gestão, manutenção, segurança e desempenho. A elaboração deste processo nestes moldes ajudou a definir as suas fases, os *inputs*, as tarefas, os *outputs*, simplificar a metodologia e adaptar às realidades das escolas da RAM de forma a auxiliá-las na análise, planeamento e implementação destas redes. A construção do processo de forma faseada permitiu identificar tarefas importantes em cada fase do processo. Definir os *inputs* e *outputs* possibilitou fornecer um apoio adicional para auxiliar quem segue o processo a ter os meios necessários para realizar cada tarefa da fase e saber o que tem que produzir no final da mesma. A comparação do processo proposto com a metodologia apresentada pelo Edmundo Monteiro e Fernando Boa Vida no livro Engenharia de Redes Informáticas [7] permitiu verificar que, embora o processo proposto tenha algumas diferenças pontuais face a esta metodologia, continua a possuir as fases que são típicas numa metodologia de planeamento e projeto.

Ter um processo bem definido no planeamento de uma rede ajuda-nos a saber o objetivo de realizar determinada fase, quais os recursos que necessitamos, o conjunto de tarefas que precisamos fazer efetivamente em cada etapa, o que esperar no final de cada fase e conhecer o próximo passo. Houve um esforço inicial para criar o processo, mas depois foi recompensado pela sua facilidade e flexibilidade de aplicação. A dificuldade de definir o processo está em pensá-lo como um todo, sem o tornar demasiado exaustivo, tentando focar nos pontos cruciais para o funcionamento do Projeto dos Manuais Digitais e na realidade das escolas. É importante identificar corretamente os *inputs* que são as ferramentas/recursos necessários para realizar cada fase, as tarefas e ações de cada fase e os *outputs* que correspondem aos seus resultados em forma de documento como auxílio na definição dos mesmos e que posteriormente podem ajudar a documentar o trabalho realizado. Além disso é importante saber relacionar as tarefas nas sucessivas fases, entender a importância de cada documento esperado no final de cada fase, quando vamos voltar a precisar dele e para que.

Após a definição do processo, realizou-se um caso de estudo para aplicação do mesmo, utilizando como modelo a Escola Básica e Secundária Gonçalves Zarco. O objetivo do caso de estudo foi permitir validar o processo criado. Com a realização deste estudo verificou-se que todas as fases e a maioria das tarefas identificadas no processo conseguiram ser aplicadas no caso de estudo, não houve nada que considerássemos não

fazer sentido aplicar. No entanto surgiram algumas limitações, dado que quando o planeamento foi realizado não existiam todos os recursos e condições favoráveis para aplicar a totalidade das tarefas identificadas no processo. É possível referir como exemplo a parte da análise do tráfego na rede, não existiam relatórios de tráfego e o contexto de confinamento provocado pela COVID-19 impossibilitou a instalação de uma estação de monitorização na rede escolar porque no limite íamos avaliar uma situação de tráfego atípica e inferior à que acontece na realidade da escola. Ainda assim considera-se importante a existência de todas as tarefas e ações que foram definidas no processo.

O processo proposto tem algumas limitações em termos da definição das entidades competentes em cada fase e ordem de responsabilidades. Este processo idealmente foi pensado para ser implementado por um membro da escola, quer seja o técnico de informática, o professor de TIC, o responsável pelo Projeto dos Manuais Digitais ou um membro do conselho executivo. No entanto algumas tarefas exigem conhecimento técnico na área das redes e planeamento de *survey*, que pode levar à necessidade de apoio por parte de entidades externas. Deste modo é importante existir uma clarificação dos perfis e responsabilidades das pessoas que vão acompanhar o processo, tanto em termos de entidades internas como externas à escola.

As pessoas e os ambientes corporativos dependem cada vez mais da disponibilidade das redes de comunicação para realizar as suas tarefas. São necessárias redes resilientes que suportem as aplicações, os sistemas e os serviços. O planeamento e projeto de redes de comunicação é uma atividade de extrema importância visto que estas são fundamentais em qualquer sistema de informação. No entanto esta atividade é muitas vezes deixada a cargo dos fornecedores que, na maior parte das vezes, têm uma perspetiva genérica de determinadas soluções e não vai de encontro aos requisitos, condicionantes e objetivos específicos do projeto em questão. A existência de um processo direcionado aos requisitos específicos do projeto permite um planeamento mais adequado focado nos pontos mais importantes. Adotar um processo bem estabelecido possibilita que uma pessoa com algum conhecimento na área possa segui-lo e fazer uma atualização rápida à rede de forma mais eficiente, poupar tempo e recursos. Se o processo de análise, planeamento e implementação definido neste estudo for seguido com os recursos necessários e as condições favoráveis à sua realização acredita-se que teremos maiores probabilidades de sucesso e eficácia desde o planeamento até à implementação destas redes. Considero que o processo pode ser implementado em todas as escolas, no entanto um projeto numa escola de pequena dimensão pode levar a alguns ajustes comparativamente a uma escola de grande dimensão devido aos recursos técnicos e financeiros disponíveis.

6.2 *Trabalhos futuros*

De forma a complementar a validação do processo sugere-se a aplicação do mesmo em outras escolas. Seria importante utilizar como modelos uma escola de pequena dimensão, uma de média dimensão e outra de grande dimensão. O objetivo é reavaliar a coerência do mesmo em várias escolas com recursos técnicos e financeiros diferentes, perceber o processo de adaptação do mesmo e moldá-lo aos recursos das escolas.

Um possível melhoramento do processo poderá passar pela clarificação dos perfis e ordens de responsabilidades das pessoas que vão acompanhar o mesmo, tanto internamente como externamente. É importante clarificar que uma certa tarefa tem que

ter algumas pessoas com certas competências. O processo deve ser revisto de forma a enquadrar especificamente vários perfis e funções. Como já vimos anteriormente, numa escola podem existir vários perfis: o técnico de informática, o professor de TIC, o responsável pelo Projeto dos Manuais Digitais e/ou um membro do conselho executivo. Um perfil pode assumir uma ou mais funções, mas é crucial segmentar ao máximo a alocação destas responsabilidades de forma a termos maior eficácia e coordenação na execução das tarefas.

Embora já tenha sido efetuada neste estudo uma análise comparativa deste processo com a metodologia de planeamento e projeto apresentada pelo Edmundo Monteiro e Fernando Boa Vida no livro *Engenharia de Redes Informáticas* [7], seria importante alargar esta comparação a outras metodologias de planeamento de redes de outros autores com relevância nesta área de forma a podermos consolidar a coerência do processo. Era fundamental comparar as fases, as tarefas e ações identificadas neste processo e reavaliá-lo de acordo com outras perspetivas para que possamos ter um processo cada vez mais sólido e fundamentado de análise, planeamento e implementação.

O processo de análise, planeamento e implementação para as redes do Projeto dos Manuais Digitais que foi criado no desenvolvimento deste trabalho pode ser sempre melhorado e aumentado principalmente no que toca aos aspetos de gestão, manutenção, segurança e desempenho que devem ser constantemente revistos e atualizados. Ao longo do tempo novas aplicações, tecnologias e equipamentos podem surgir e como tal os requisitos de gestão, manutenção, segurança e desempenho têm que se adaptar a essa mudança.

6.3 *Considerações finais*

Como notas finais gostava de realçar o entusiasmo e interesse que tive na realização deste trabalho por se tratar de um cenário real de utilização que envolve tecnologia e aprendizagem na mesma equação. Este possibilitou-me a envolvimento num projeto relativamente recente a nível regional no âmbito da digitalização do ensino.

Realizar este trabalho permitiu-me lidar com os técnicos de informática e com os responsáveis pelo Projeto dos Manuais Digitais no levantamento de requisitos e análise das atuais infraestruturas das escolas, planear e especificar uma rede informática assim como acompanhar e apoiar as equipas de implementação na instalação da solução.

Como o processo estava focado no planeamento das redes Wi-Fi, tive a possibilidade de desenvolver habilidades no *Ekahau*, uma ferramenta robusta suportada pelas principais empresas do ramo como a Cisco e a Aruba Networks. Este software permite realizar *surveys* passivos, ativos, preditivos, simular a capacidade e a cobertura da rede. Deste modo é uma peça fundamental no planeamento de uma WLAN tanto na fase de validação da rede atual, como no projeto e na validação da implementação.

A elaboração deste trabalho permitiu consolidar diversos conceitos abordados em várias unidades curriculares da licenciatura e mestrado em Engenharia Informática além de aumentar o meu conhecimento em relação às redes de comunicação de dados, sobre a tecnologia Wi-Fi e metodologias de planeamento e projeto de redes.

Referências

- [1] “Cisco aponta futuro digital mais inclusivo,” *COMPUTERWORLD*, 26 maio 2020.
- [2] D. Connolly e J. Kim, “8th Customer Enganement Technology study 2019,” *Hospitality Technology Magazine*, 2019.
- [3] K. Shaw, “What is Wi-Fi and why is it so important?,” *Network World*, 11 Junho 2020.
- [4] J. Gold, “Wi-Fi to the rescue as governments react to COVID pandemic,” *Network World*, 11 Maio 2020.
- [5] J. Mateus, “Digitalizar as escolas é muito mais do que comprar computadores,” *Expresso*, 15 fevereiro 2021.
- [6] E. Zimmerman, “Higher Education Invests in Wi-Fi Technology for Smart Campus Projects,” *EdTech Magazine*, 29 março 2019.
- [7] E. Monteiro e F. Boa Vida, *Engenharia de Redes Informáticas*, FCA, 2011.
- [8] I. Poole, “What is WiFi: IEEE 802.11,” [Online]. Available: <https://www.electronics-notes.com/articles/connectivity/wifi-ieee-802-11/what-is-wifi.php>. [Acedido em 1 outubro 2020].
- [9] D. D. Coleman e D. A. Westcott, *Certified Wireless Network Administration*, Rachel McCologue, 2015.
- [10] D. Hucaby, *CCNA Wireless 200-355 Official Cert Guide*, Cisco Press, 2016.
- [11] I. Poole, “WiFi Standards: IEEE 802.11,” [Online]. Available: <https://www.electronics-notes.com/articles/connectivity/wifi-ieee-802-11/standards.php>. [Acedido em 4 outubro 2020].
- [12] A. F. Pinheiro, A. L. Anes, B. Pereira e D. Afonso, “Como evoluíram as normas IEEE 802.11,” FEUP, Porto, 2013.
- [13] I. Poole, “What is MIMO Wireless Technology,” [Online]. Available: <https://www.electronics-notes.com/articles/antennas-propagation/mimo/what-is-mimo-multiple-input-multiple-output-wireless-technology.php>. [Acedido em 5 outubro 2020].
- [14] I. Poole, “MU-MIMO Multi-User MIMO,” [Online]. Available: <https://www.electronics-notes.com/articles/antennas-propagation/mimo/multiuser-mu-mimo.php>. [Acedido em 6 outubro 2020].
- [15] S. Muhammad, H. Refai e J. Zhao, “An Empirical Analysis of IEEE 802.11ax,” em *International Conference on Communications, Signal Processing and their Applications*, Sharjah, UAE, 2020.
- [16] Cisco, “IEEE 802.11ax: The Sixth Generation of Wi-Fi,” *Technical White Paper*, april 2020.
- [17] “Wi-Fi CERTIFIED 6,” [Online]. Available: <https://www.wi-fi.org/discover-wi-fi/wi-fi-certified-6>. [Acedido em 9 Outubro 2020].
- [18] M. Jackson, “Next Generation 30Gbps Wi-Fi 7 Standard 802.11be Takes Shape,” *ISPreview*, 2020.

- [19] A. Flockett, “WiFi 7: the next generation of WiFi technology,” *Electronic Specifier*, 2019.
- [20] K. Manrique, “Network Capacity Planning – Wireless Capacity vs Coverage,” [Online]. Available: <https://www.tanaza.com/blog/network-capacity-planning/>. [Acedido em 18 august 2020].
- [21] J. Florwick, J. Whiteaker, A. C. Amrod e J. Woodhams, *Wireless LAN Design Guide for High Density Client Environments in Higher Education*, 2017.
- [22] K. Manrique, “WiFi network design – What to take into consideration when designing WLANs,” 10 October 2020. [Online]. Available: <https://www.tanaza.com/blog/wifi-network-design/>. [Acedido em 31 janeiro 2021].
- [23] S. H. B. Brito, “Minimum RSSI: Como Definir a Qualidade do Sinal dos Clientes e Otimizar o Roaming na Rede Wi-Fi?,” 1 august 2018. [Online]. Available: <https://medium.com/ubntbr/minimum-rssi-como-definir-a-qualidade-do-sinal-dos-clientes-e-otimizar-o-roaming-na-rede-wifi-8d590f2ab09>. [Acedido em 30 janeiro 2021].
- [24] A. R. Revathi e M. Shwetha, “Digital Learning,” july 2019.
- [25] E. Virtual, “Projetos de Sucesso,” [Online]. Available: <https://www.escolavirtual.pt/Instituicoes/projetosdesucesso.htm>. [Acedido em 20 outubro 2020].
- [26] “Tablets in School: What are the Impacts on Student with a Learning Disability?,” em *International Conference on Training and Technology (ICETT)*, Seoul, South Korea, 2019.
- [27] T. Jaguš, I. Boticki, V. Mornar e H.-J. So, “Gamified Digital Math Lessons for Lower Primary School Students,” em *6th IIAI International Congress on Advanced Applied Informatics*, Croacia, 2017.
- [28] A. S. d. I. S. Tuya e E. D. L. J. Ruiz, “Level of educational attainment by the use of the tablets as a didactic-digital resource,” em *the XVIII International Conference*, Av. San Claudio, Puebla, México, 2017.
- [29] J. Uchidiuno, E. Yarzebinski, M. Madaio, N. Maheshwari, K. R. Koedinger e A. Ogan, “Designing Appropriate Learning Technologies for School vs Home Settings in Tanzanian Rural Villages,” em *the 1st ACM SIGCAS Conference*, Sub-Saharan Africa, 2018.
- [30] I. Majid e S. Kouser, “Digital Learning: A Shift from Blackboard to Digital Board,” 2019.
- [31] Y. Chua, P. K. Sridhar, H. Zhang, V. Dissanayake e S. Nanayakkara, “Evaluating IVR in Primary School Classrooms,” em *IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct*, 2019.
- [32] “Digital promise - Accelerating innovation in educacion,” [Online]. Available: <https://global.digitalpromise.org/reinvent-the-classroom/>. [Acedido em 20 Outubro 2020].
- [33] “Up to university,” [Online]. Available: <https://up2university.eu/>. [Acedido em 21 Outubro 2020].

- [34] I. Makarova, K. Shubenkova, A. Bagateeva e A. Pashkevich, “Digitalization of Education as a New Destination of E-Learning,” em *International Symposium ELMAR*, 2018.
- [35] D.G.Arseniev, I.R.Trostinskaya, E. G. Pozdeeva e L. I. Evseeva, “Processes of changes in the educational environment under the influence of digital technologies,” em *SPBPU IDE '19: International Scientific Conference on Innovations in Digital Economy 2019*, St. Petersburg, Russia, 2019.
- [36] “Projeto dos Manuais Digitais,” [Online]. Available: <https://www.escolavirtual.pt/Pagina-Especial/madeira.htm>. [Acedido em 1 Outubro 2020].

Anexos

Anexo A - Disposição e descrição dos espaços

Este anexo apresenta as plantas da Escola Básica e Secundária Gonçalves Zarco com a disposição e descrição das salas e espaços comuns.

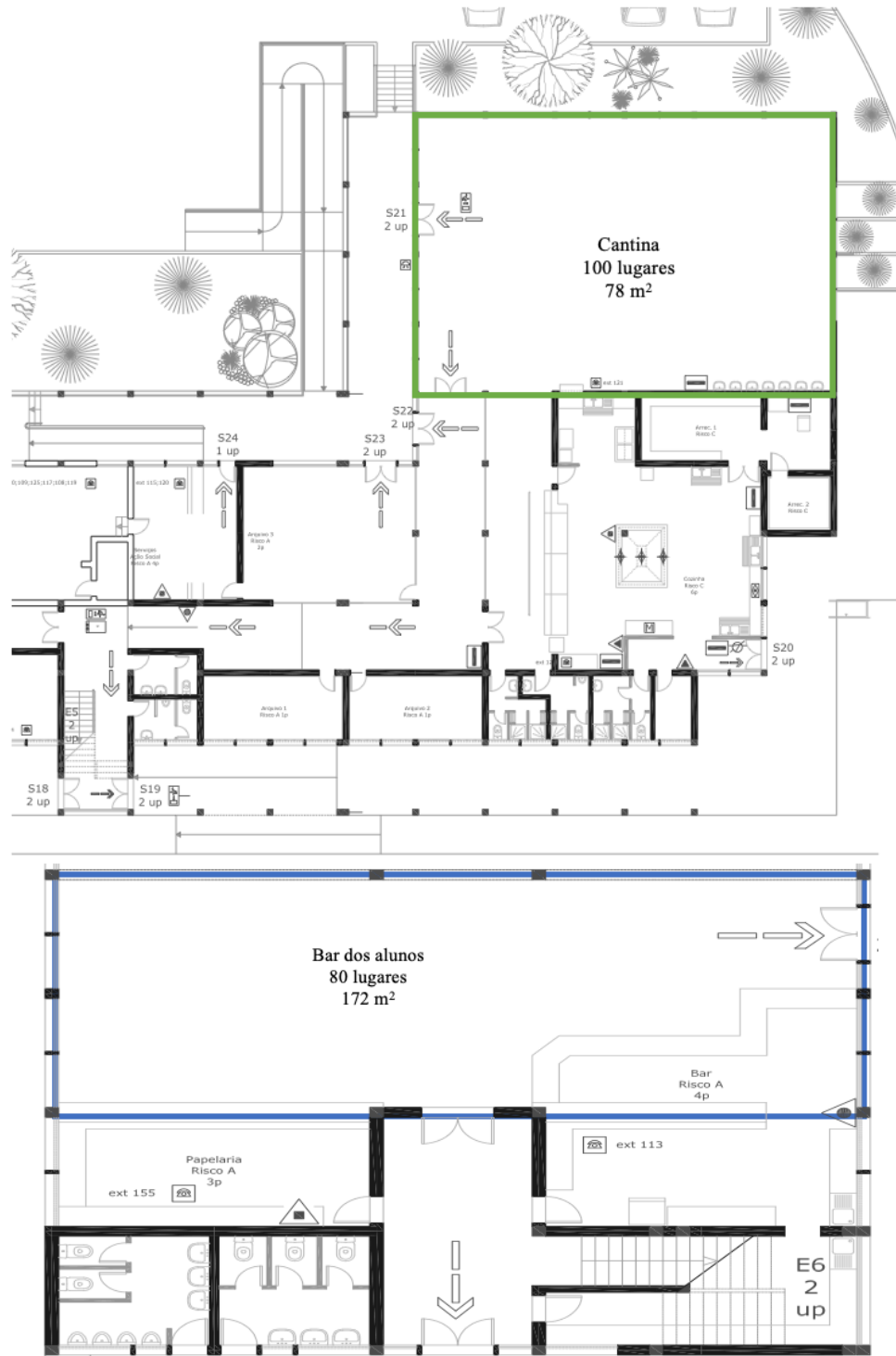


Figura 41 - Disposição e descrição dos espaços no Bloco A piso 0

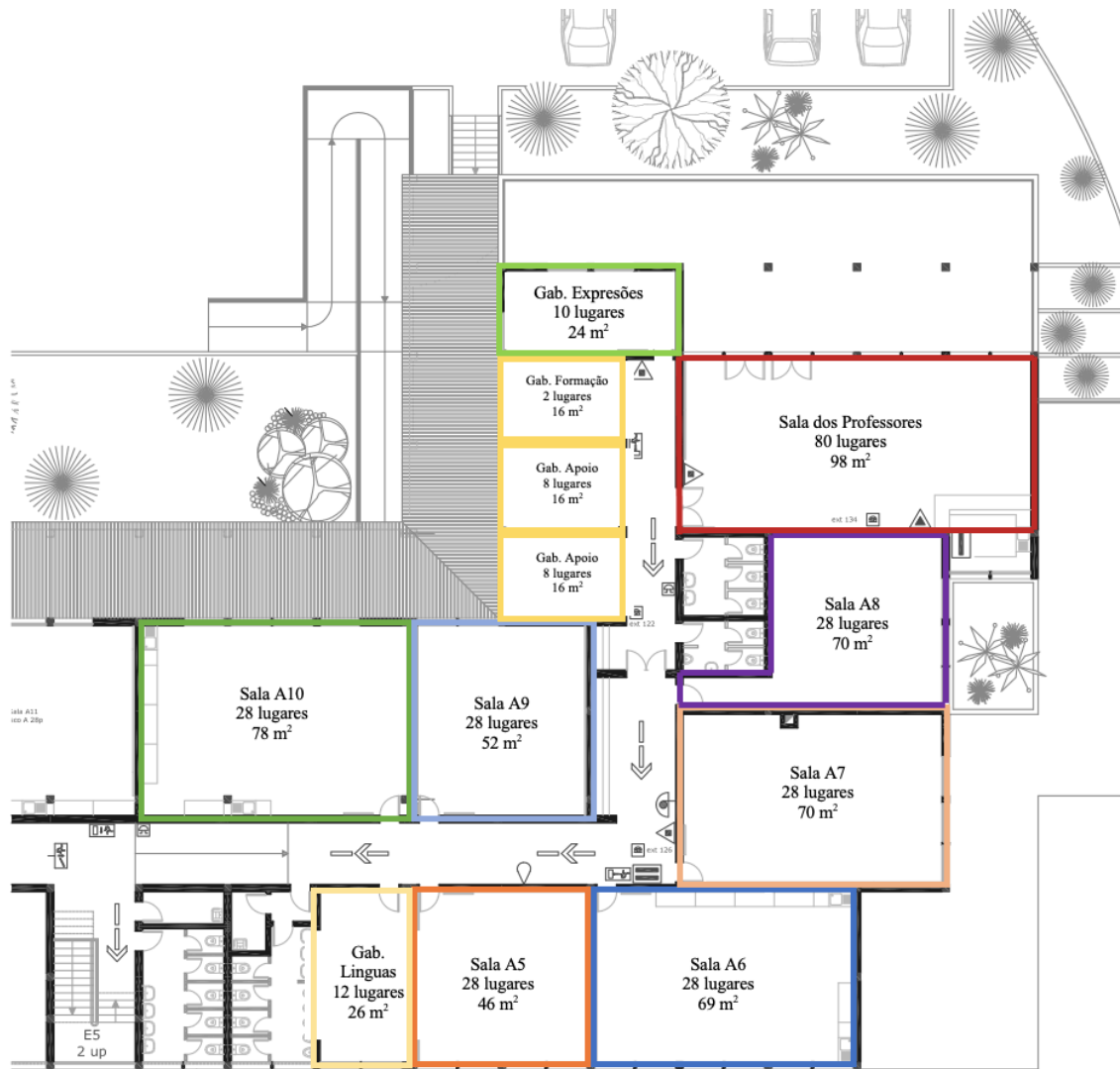


Figura 42 - Disposição e caracterização dos espaços no Bloco A2 piso 1

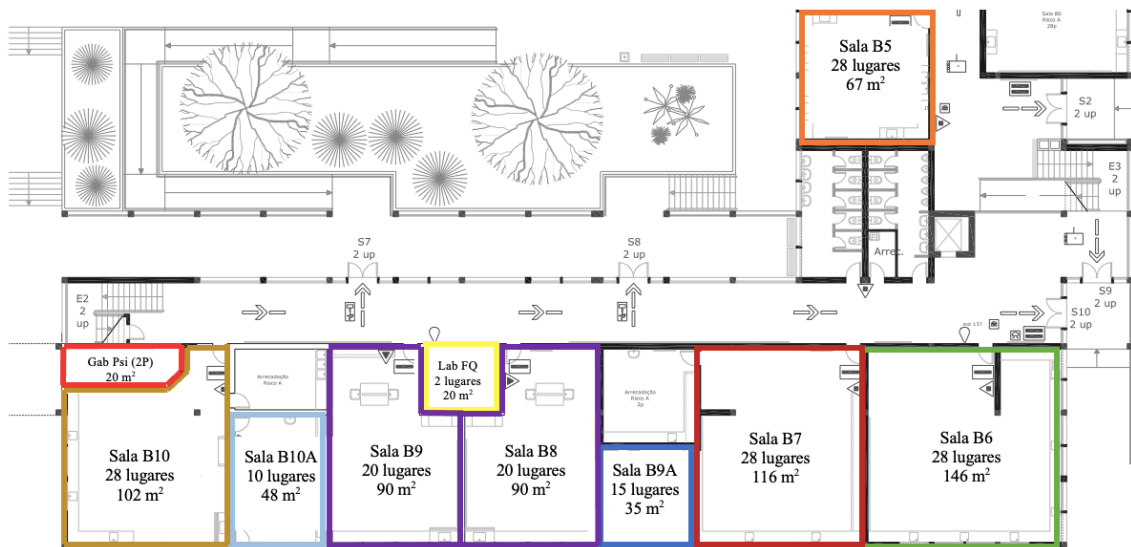


Figura 43 - Disposição e descrição dos espaços no Bloco B piso 0

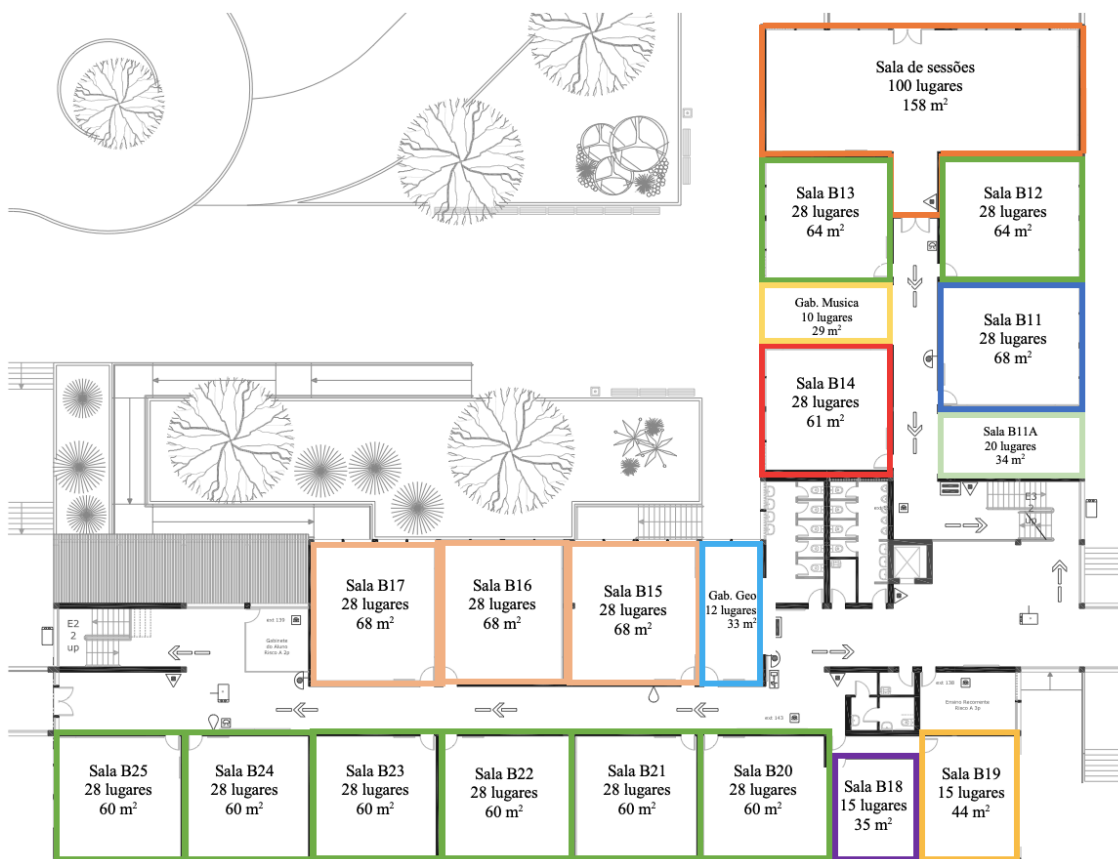


Figura 44 - Disposição e descrição dos espaços no Bloco B piso 1

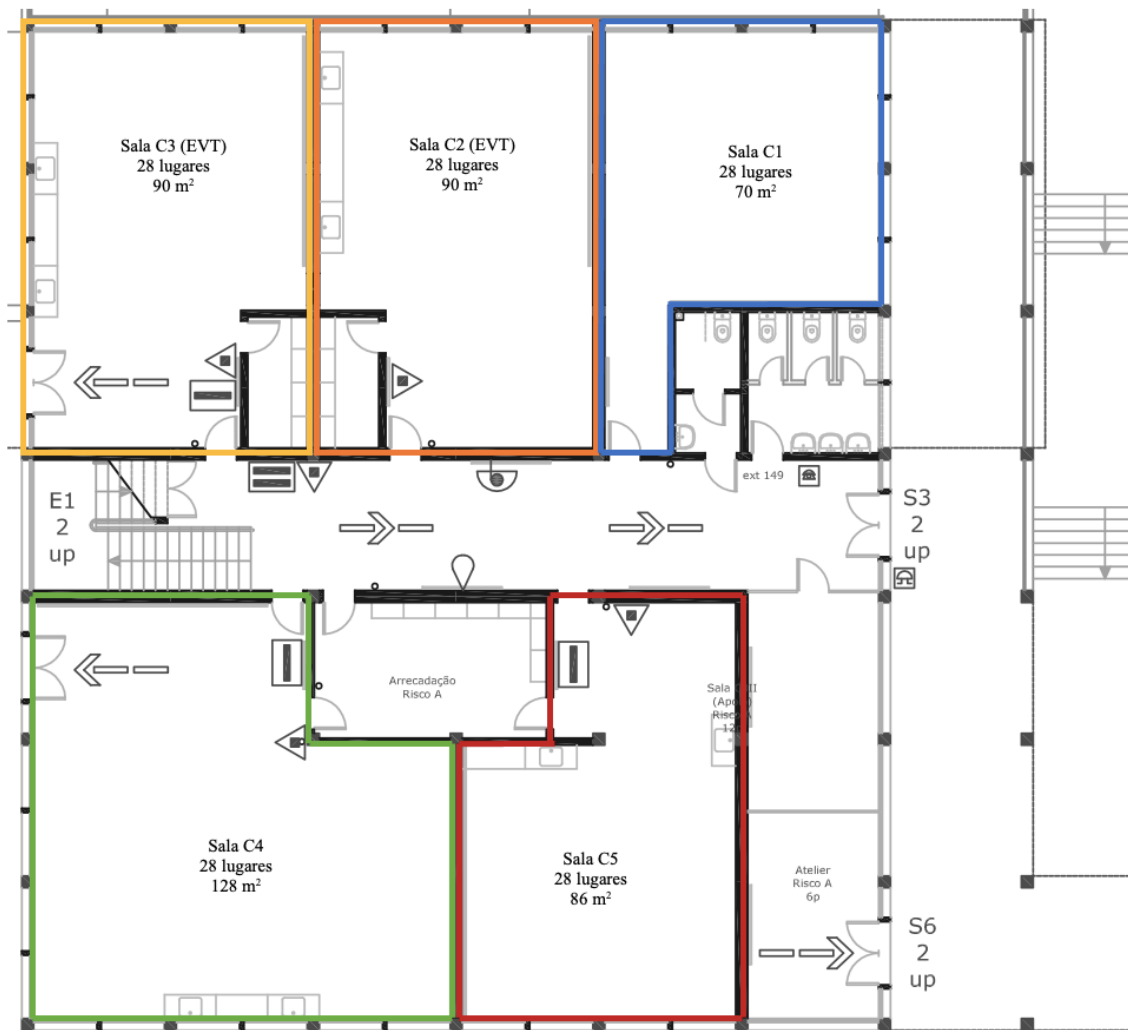


Figura 45 - Descrição e caracterização dos espaços no Bloco C piso 0



Figura 46 - Descrição e caracterização dos espaços no piso 1 do Bloco C

Nota: os restantes pisos dos blocos em falta não foram caracterizados por se tratar de espaços como arrecadações, gabinetes, oficinas, arquivos e salas de funcionários que não pretendem ser alvo de utilização do Projeto dos Manuais Digitais nesta escola.

Anexo B – Áreas de utilização

Neste anexo apresentam-se as tabelas com as áreas de utilização criadas para o planeamento por capacidade utilizadas no survey preditivo.

Tabela 18 - Definição das áreas no bloco A

Nome da área	Dispositivos	Atividade
Sala de aula A1 até sala A11	27 <i>tablets</i>	<i>High SLA (4Mbps)</i>
	1 <i>laptop</i>	
	1 quadro interativo	
	28 <i>smartphones</i>	<i>Background Synchronization (5Kbps)</i>
Sala de aula A12	12 <i>tablets</i>	<i>High SLA (4Mbps)</i>
	1 <i>laptop</i>	
	1 quadro interativo	
	12 <i>smartphones</i>	<i>Background Synchronization (5Kbps)</i>
Sala de aula A13 e A15	27 <i>tablets</i>	<i>High SLA (4Mbps)</i>
	1 <i>laptop</i>	
	1 quadro interativo	
	28 <i>smartphones</i>	<i>Background Synchronization (5Kbps)</i>
Sala de informática (A14)	10 <i>tablets</i>	<i>High SLA (4Mbps)</i>
	10 <i>desktops</i>	
	1 quadro interativo	
	10 <i>smartphones</i>	<i>Background Synchronization (5Kbps)</i>
Biblioteca	50 <i>tablets</i>	<i>High SLA (4Mbps)</i>
	50 <i>smartphones</i>	<i>Background Synchronization (5Kbps)</i>
Sala de estudo	15 <i>tablets</i>	<i>High SLA (4Mbps)</i>
	15 <i>smartphones</i>	<i>Background Synchronization (5Kbps)</i>
Salas de apoio	8 <i>tablets</i>	<i>High SLA (4Mbps)</i>
	1 <i>laptop</i>	
	1 quadro interativo	
	8 <i>smartphones</i>	<i>Background Synchronization (5Kbps)</i>
Cantina	100 <i>tablets</i>	<i>High SLA (4Mbps)</i>
	100 <i>smartphones</i>	<i>Background Synchronization (5Kbps)</i>
Bar dos alunos	80 <i>tablets</i>	<i>High SLA (4Mbps)</i>
	80 <i>smartphones</i>	<i>Background Synchronization (5Kbps)</i>

Tabela 19 - Definição das áreas no bloco B

Nome da área	Dispositivos	Atividade
Sala de aula B0 até B17	27 <i>tablets</i>	<i>High SLA (4Mbps)</i>
	1 <i>laptop</i>	
	1 quadro interativo	
	28 <i>smartphones</i>	<i>Background Synchronization (5Kbps)</i>
Sala B2A	20 <i>tablets</i>	<i>High SLA (4Mbps)</i>
	1 <i>laptop</i>	
	1 quadro interativo	
	20 <i>smartphones</i>	<i>Background Synchronization (5Kbps)</i>
Sala B9A, B10A	14 <i>tablets</i>	<i>High SLA (4Mbps)</i>
	1 <i>laptop</i>	
	1 quadro interativo	
	15 <i>smartphones</i>	<i>Background Synchronization (5Kbps)</i>
Lab. Física/química	2 <i>tablets</i>	<i>High SLA (4Mbps)</i>
	3 <i>smartphones</i>	<i>Background Synchronization (5Kbps)</i>
Sala de aula B18, B19	14 <i>tablets</i>	<i>High SLA (4Mbps)</i>
	1 <i>laptop</i>	
	1 quadro interativo	
	15 <i>smartphones</i>	<i>Background Synchronization (5Kbps)</i>
Gab. Geografia/Filosofia	11 <i>tablets</i>	<i>High SLA (4Mbps)</i>
	1 <i>laptop</i>	
	1 quadro interativo	
	12 <i>smartphones</i>	<i>Background Synchronization (5Kbps)</i>
Gab. Música	9 <i>tablets</i>	<i>High SLA (4Mbps)</i>
	1 <i>laptop</i>	
	1 quadro interativo	
	10 <i>smartphones</i>	<i>Background Synchronization (5Kbps)</i>
Sala de aula B20 até B25	27 <i>tablets</i>	<i>High SLA (4Mbps)</i>
	1 <i>laptop</i>	
	1 quadro interativo	
	28 <i>smartphones</i>	<i>Background Synchronization (5Kbps)</i>
Sala de sessões	100 <i>tablets</i>	<i>High SLA (4Mbps)</i>
	100 <i>smartphones</i>	<i>Background Synchronization (5Kbps)</i>

Tabela 20 - Definição das áreas no bloco C

Nome da área	Dispositivos	Atividade
Sala de aula C1 até C10	<i>27 tablets</i>	<i>High SLA (4Mbps)</i>
	<i>1 laptop</i>	
	<i>1 quadro interativo</i>	
	<i>28 smartphones</i>	<i>Background Synchronization (5Kbps)</i>
Laboratório <i>hardware</i>	<i>14 tablets</i>	<i>High SLA (4Mbps)</i>
	<i>1 laptop</i>	
	<i>1 quadro interativo</i>	
	<i>15 smartphones</i>	<i>Background Synchronization (5Kbps)</i>
Laboratório de redes	<i>14 tablets</i>	<i>High SLA (4Mbps)</i>
	<i>1 laptop</i>	
	<i>1 quadro interativo</i>	
	<i>15 smartphones</i>	<i>Background Synchronization (5Kbps)</i>

Anexo C – Pré-survey passivo e ativo

Este anexo ilustra os *heatmaps* obtidos com o *pré-survey* realizado na Escola Básica e secundária Gonçalves Zarco.

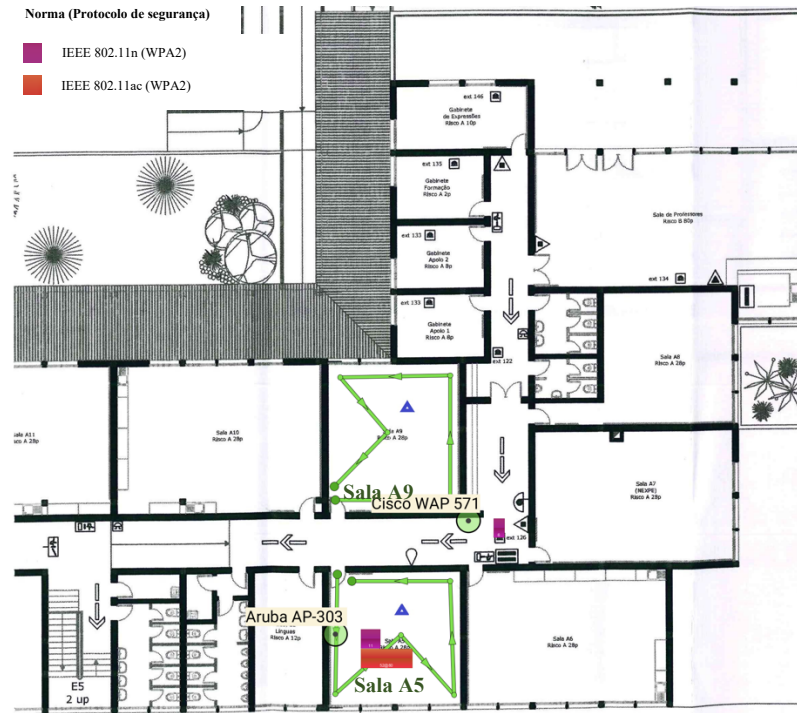


Figura 47 - Trajeto realizado no *survey* das salas do piso 1 bloco A2

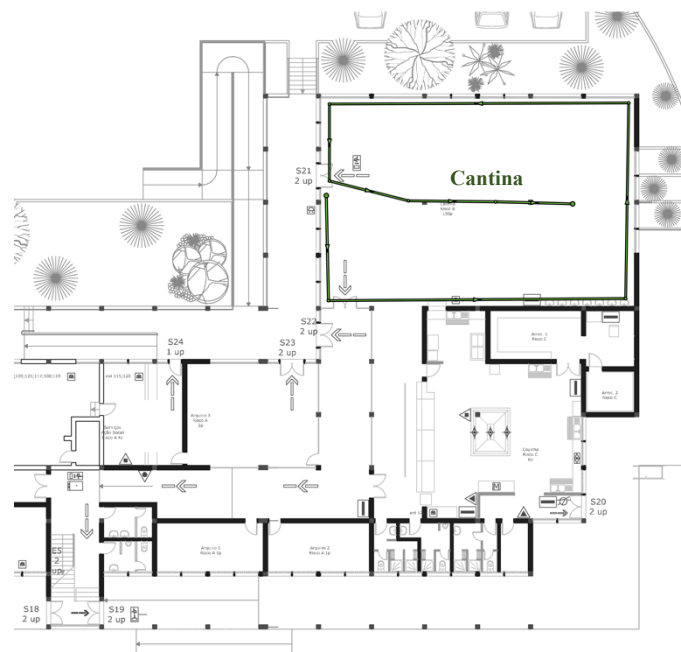


Figura 48 - Trajeto *survey* realizado no piso 0 bloco A

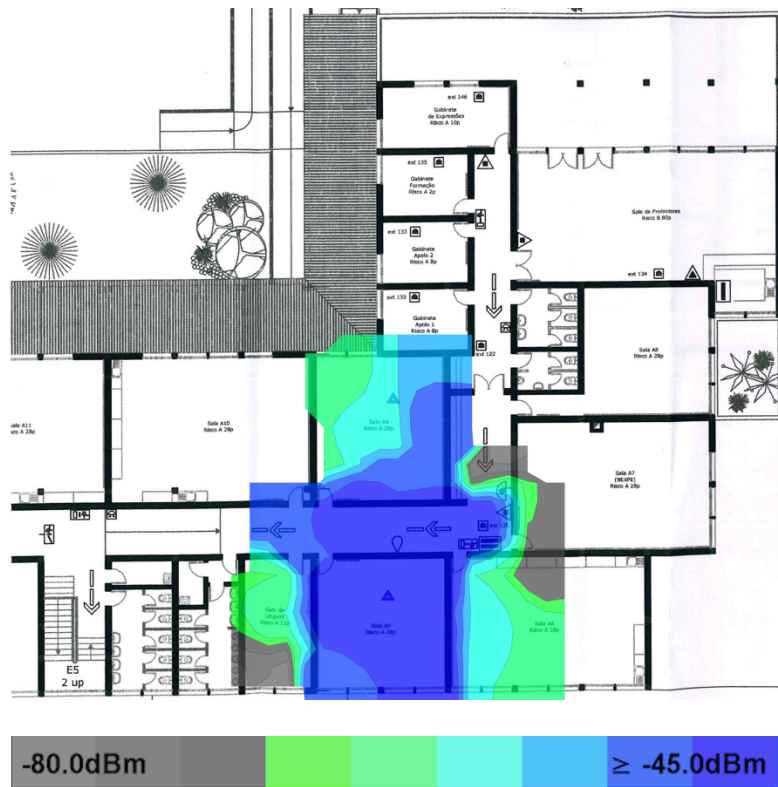


Figura 49 - Heatmap do RSSI no piso 1 bloco A2



Figura 50 - Heatmap do Data Rate no piso 1 bloco A2



Figura 51 - Heatmap do Throughput no piso 1 bloco A2

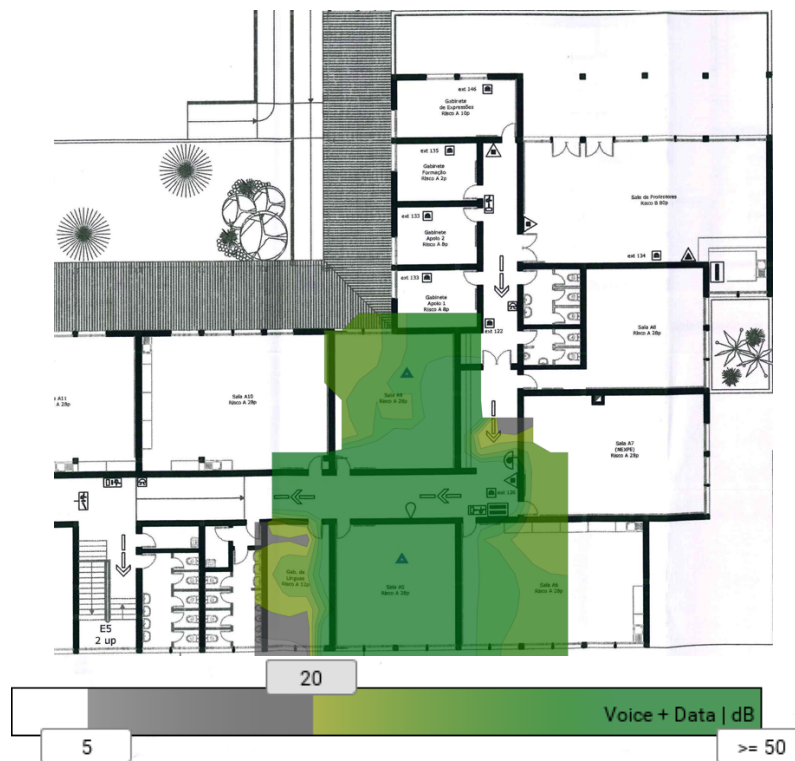


Figura 52 - Heatmap do SNR no piso 1 bloco A2

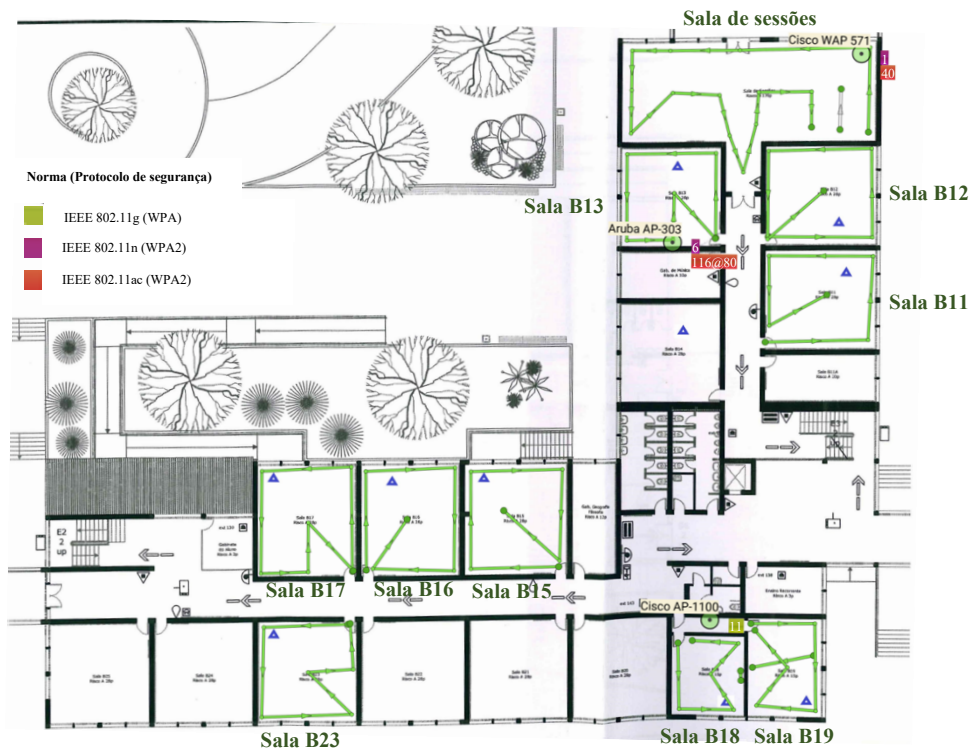


Figura 54 - Trajeto realizado no survey ao piso 1 bloco B

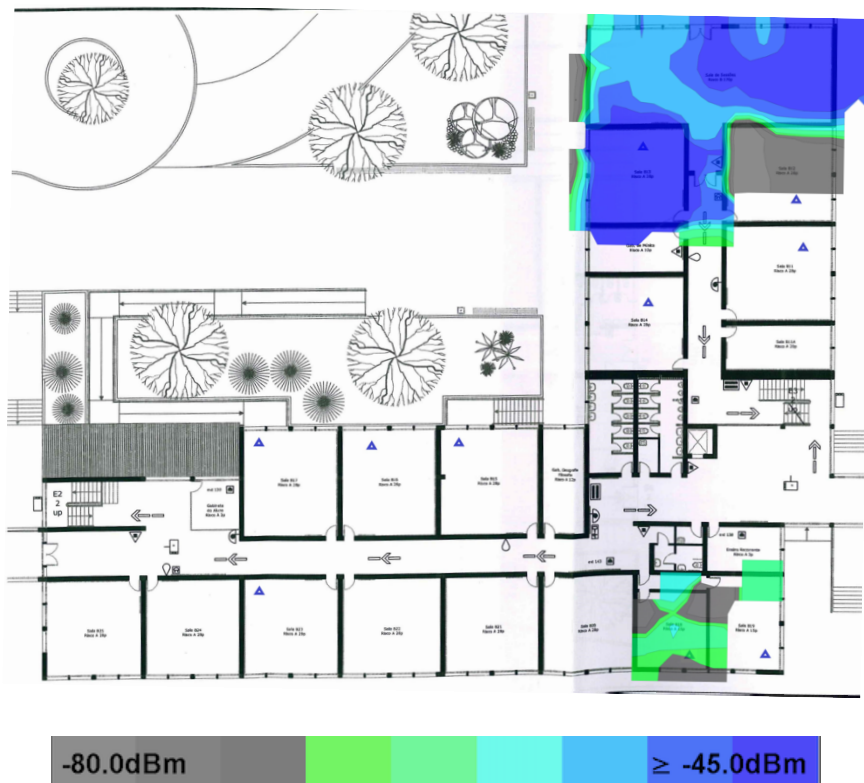


Figura 55 - Heatmap do RSSI piso 1 bloco B



Figura 56 – Heatmap do Data Rate no piso 1 Bloco B

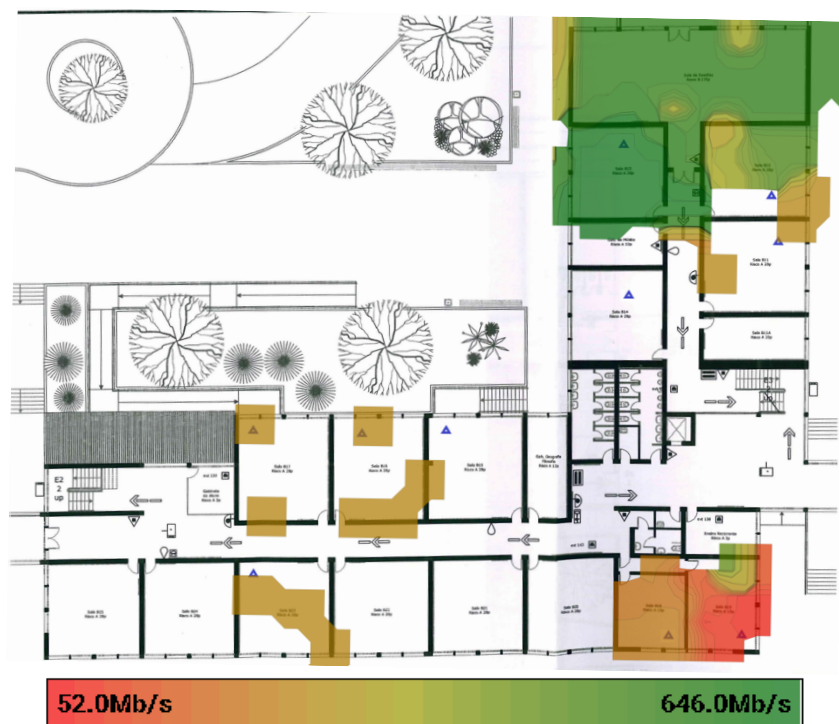


Figura 57 - Heatmap do Throughput no piso 1 bloco B

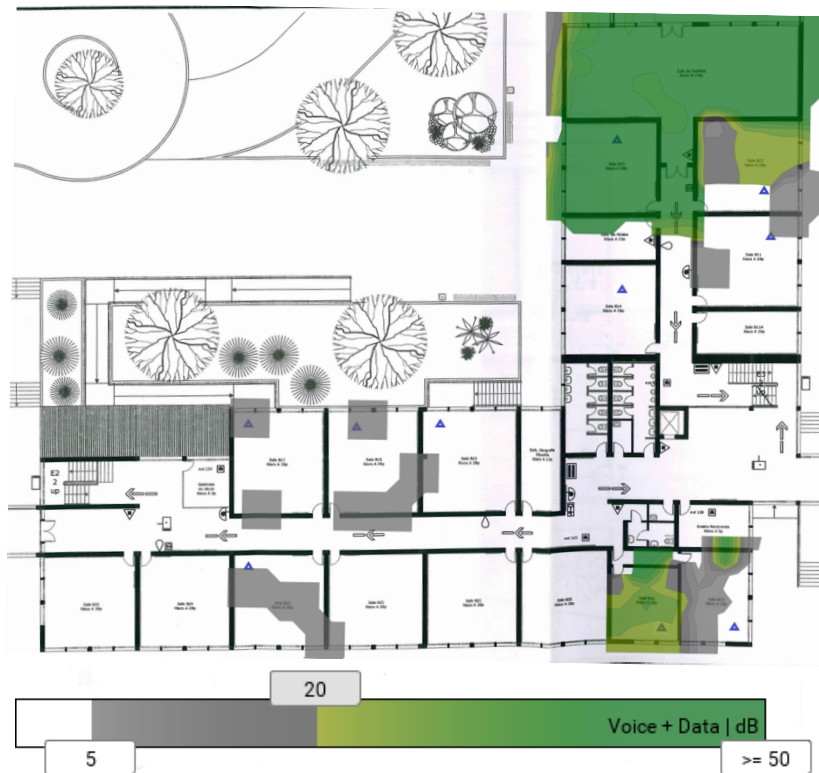


Figura 58 - Heatmap do SNR piso 1 bloco B

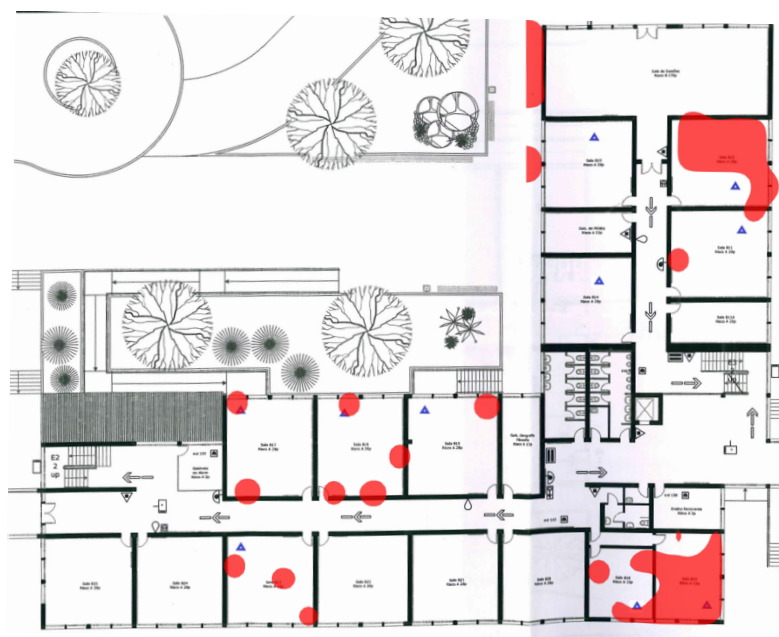


Figura 59 - Heatmap do Network Issues piso 1 bloco B

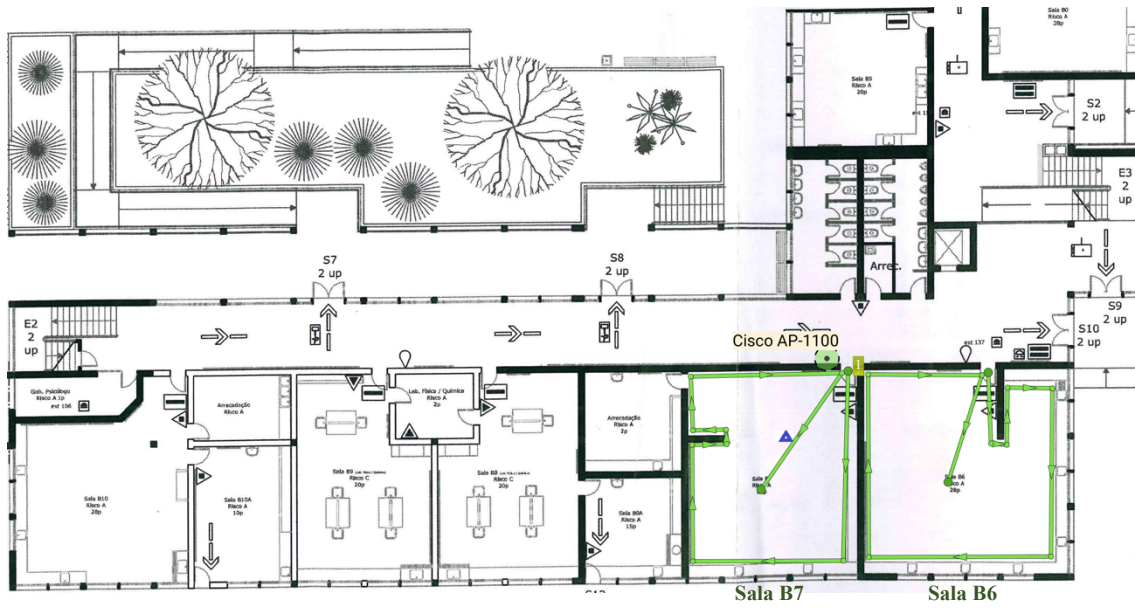


Figura 60 - Trajeto do survey no piso 0 bloco B

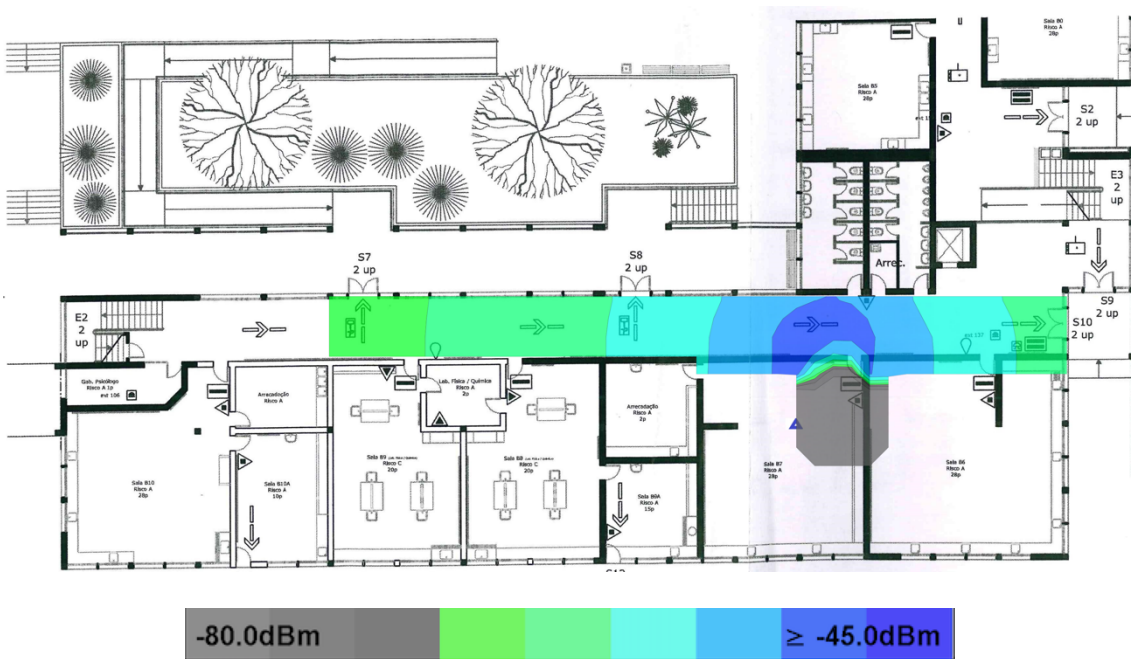


Figura 61 – Heatmap do RSSI piso 0 Bloco B

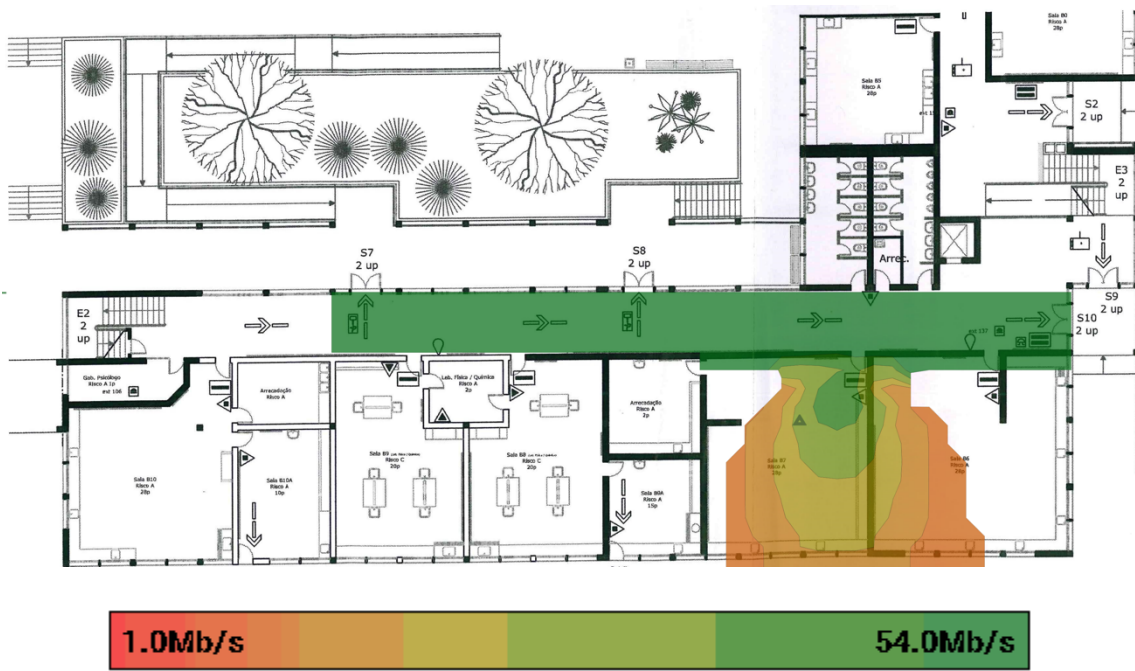


Figura 62 - Heatmap do Data Rate piso 0 bloco B

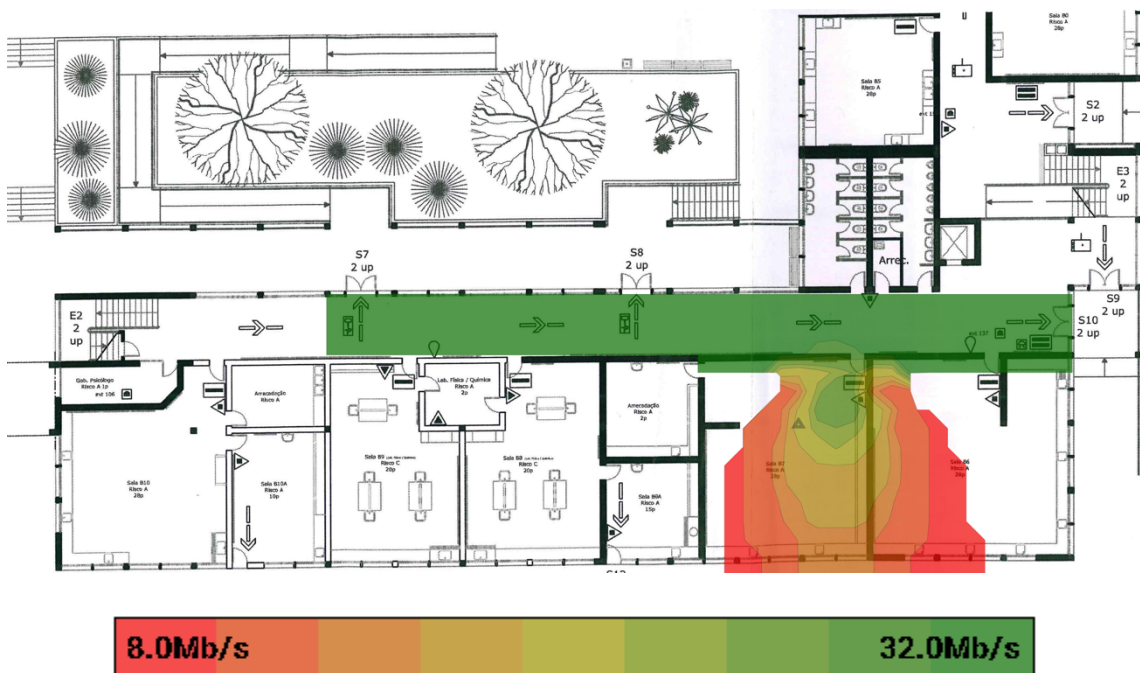


Figura 63 – Heatmap do Throughput piso 0 bloco B

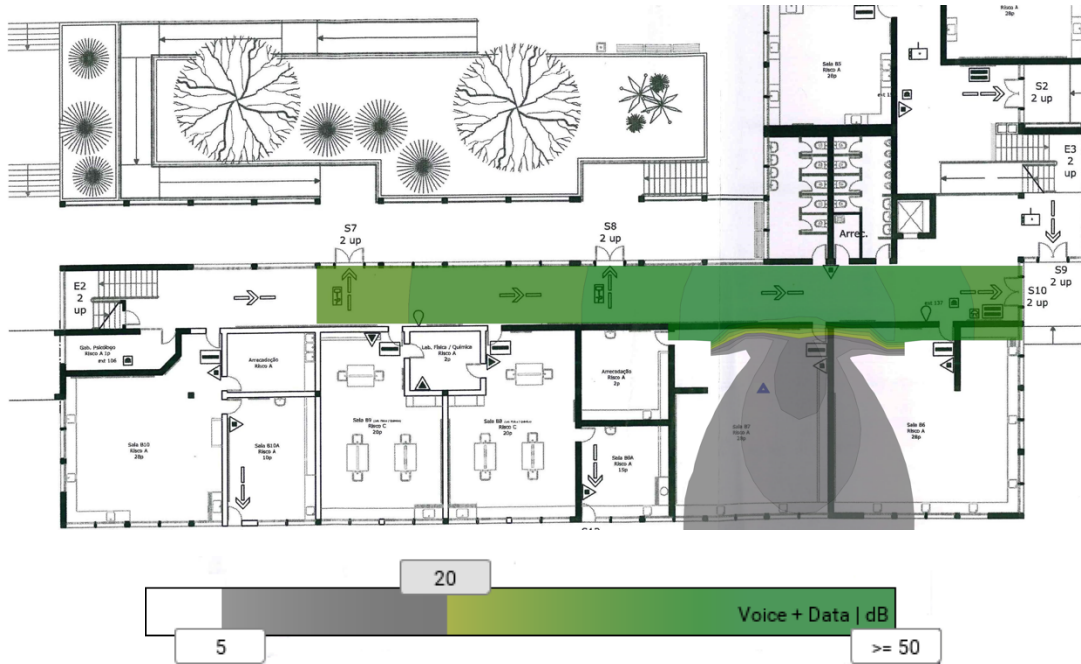


Figura 64 - Heatmap do SNR piso 0 bloco B

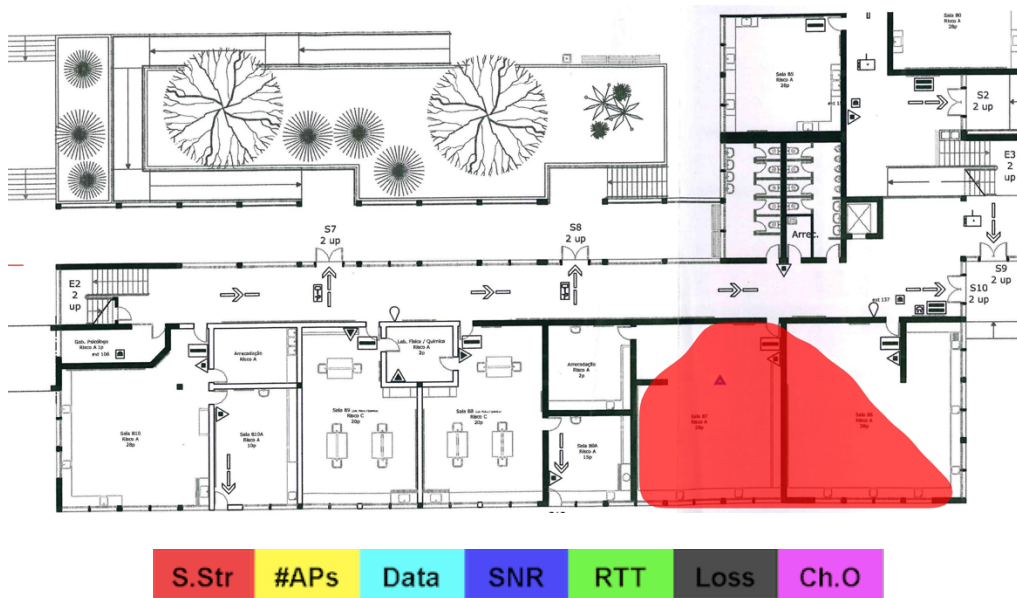


Figura 65 - Heatmap do Network Issues piso 0 bloco B

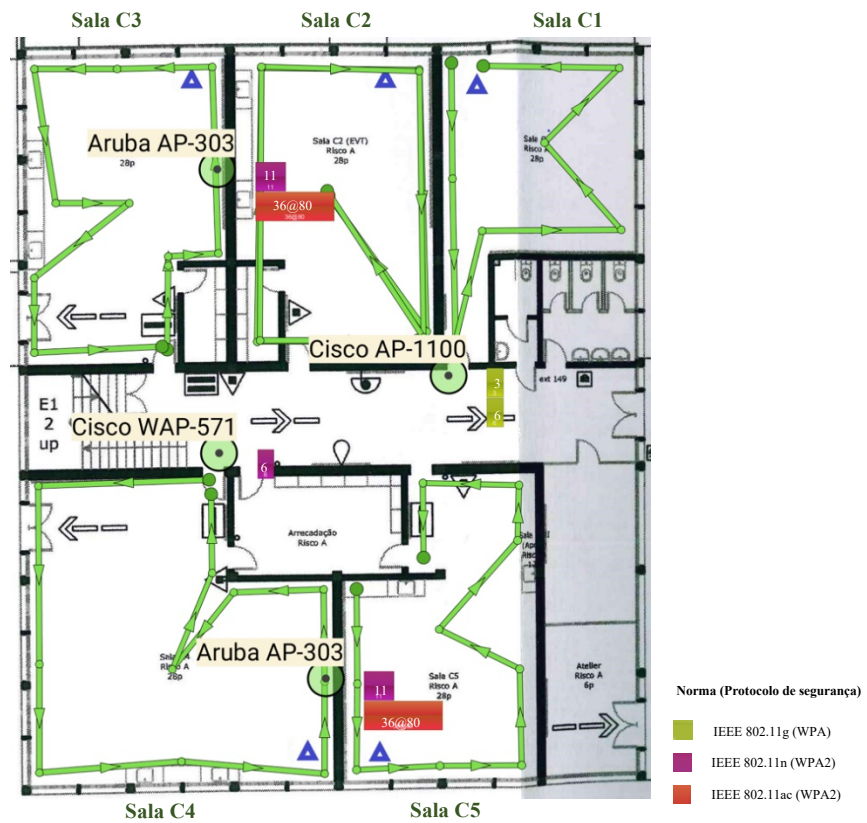


Figura 66 - Trajeto realizado no *survey* ao piso 0 bloco C

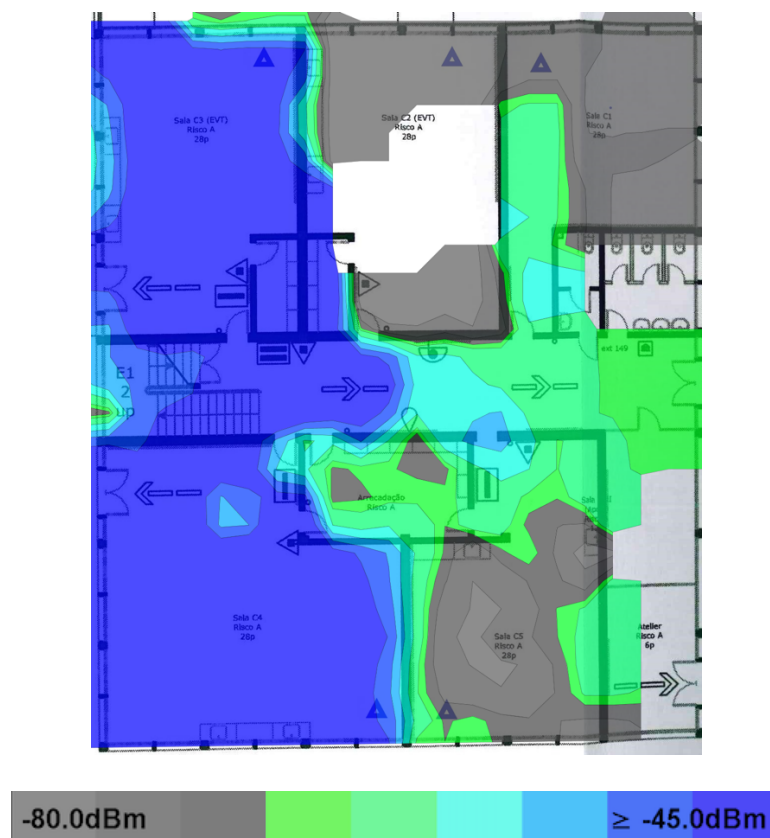


Figura 67 – Heatmap do RSSI do piso 0 bloco C



Figura 68 - Heatmap do Data Rate no piso 0 do bloco C

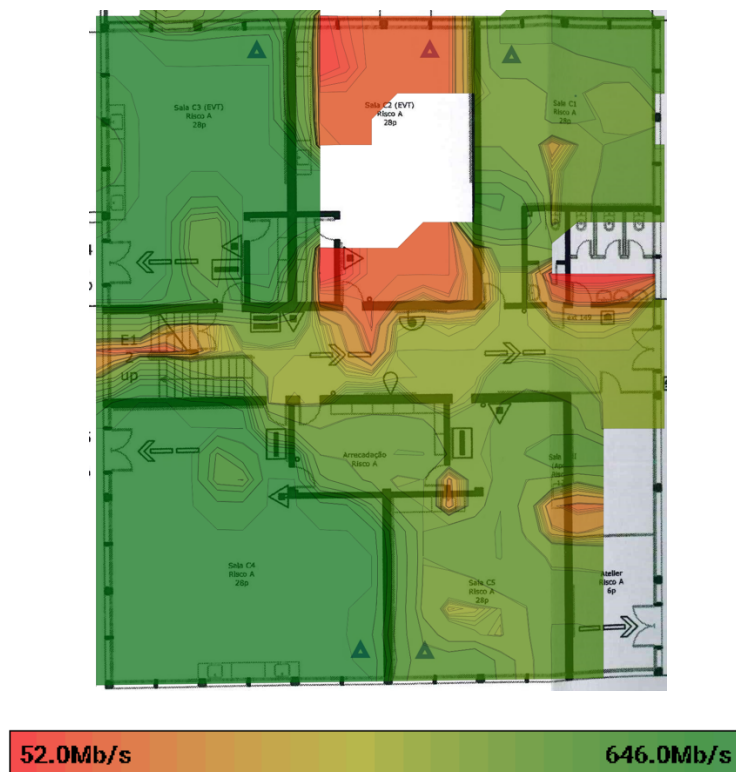


Figura 69 - Heatmap do Throughput no piso 0 Bloco C

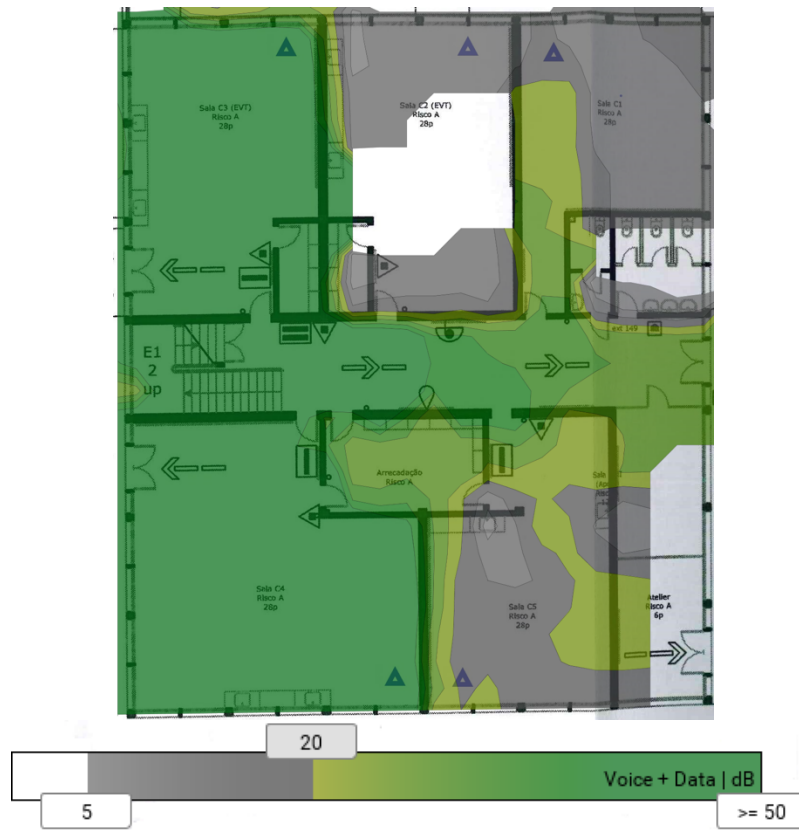


Figura 70 - Heatmap do SNR piso 0 bloco C



Figura 71 - Heatmap do Network Issues piso 0 Bloco C

Anexo D - Survey preditivo

Neste anexo apresentamos os *heatmaps* resultantes do *survey* preditivo realizado na Escola Básica e secundária Gonçalves Zarco.

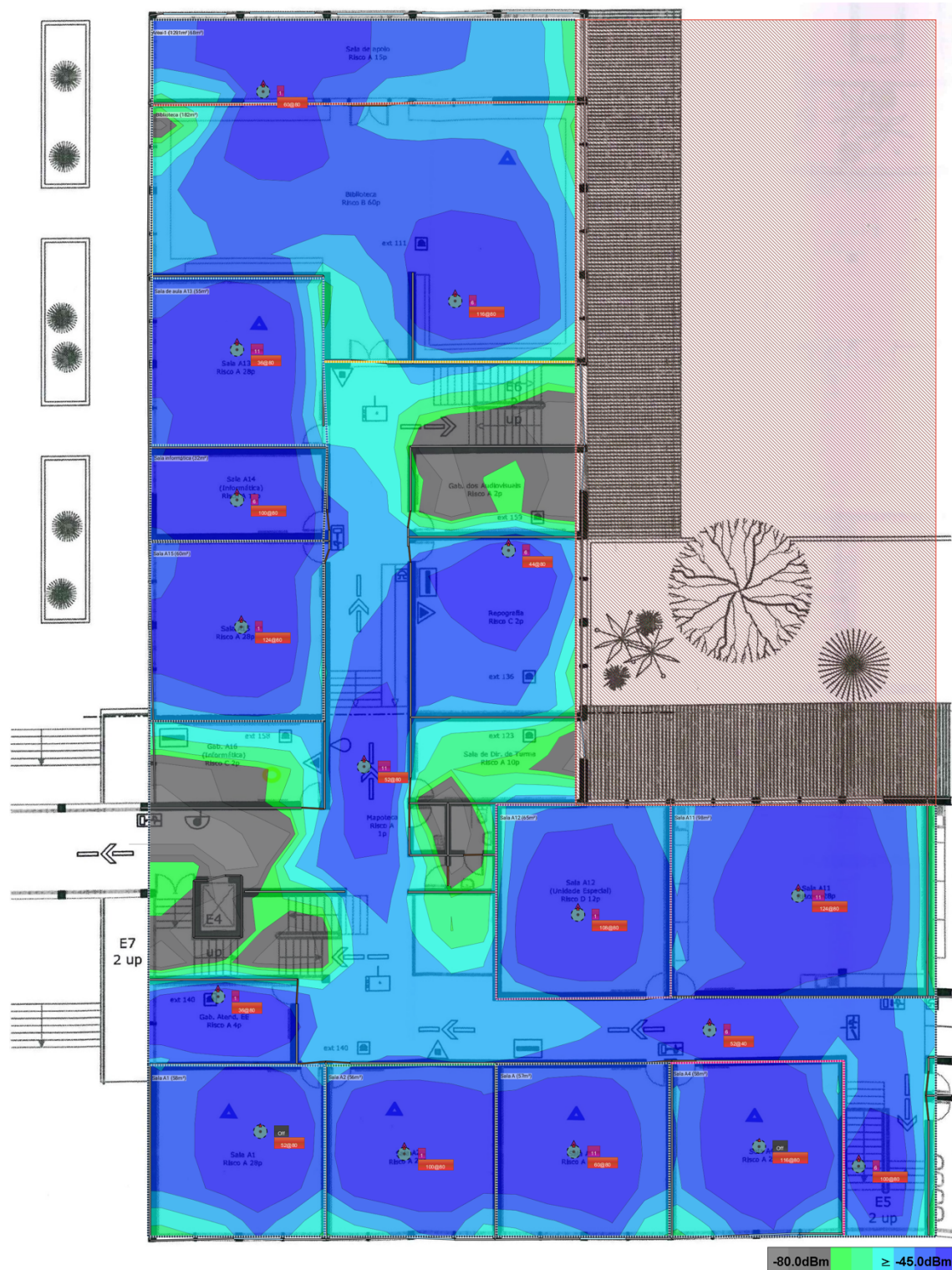


Figura 72 - Heatmap relativo ao RSSI no piso 1 do bloco A1



Figura 73 - Heatmap relativo ao Throughput no piso 1 bloco A1



Figura 75 - Heatmap relativo ao Network Health no piso 1 bloco A1



Figura 76 - Heatmap relativo ao parâmetro *Network Issues* no bloco piso 1 bloco A1

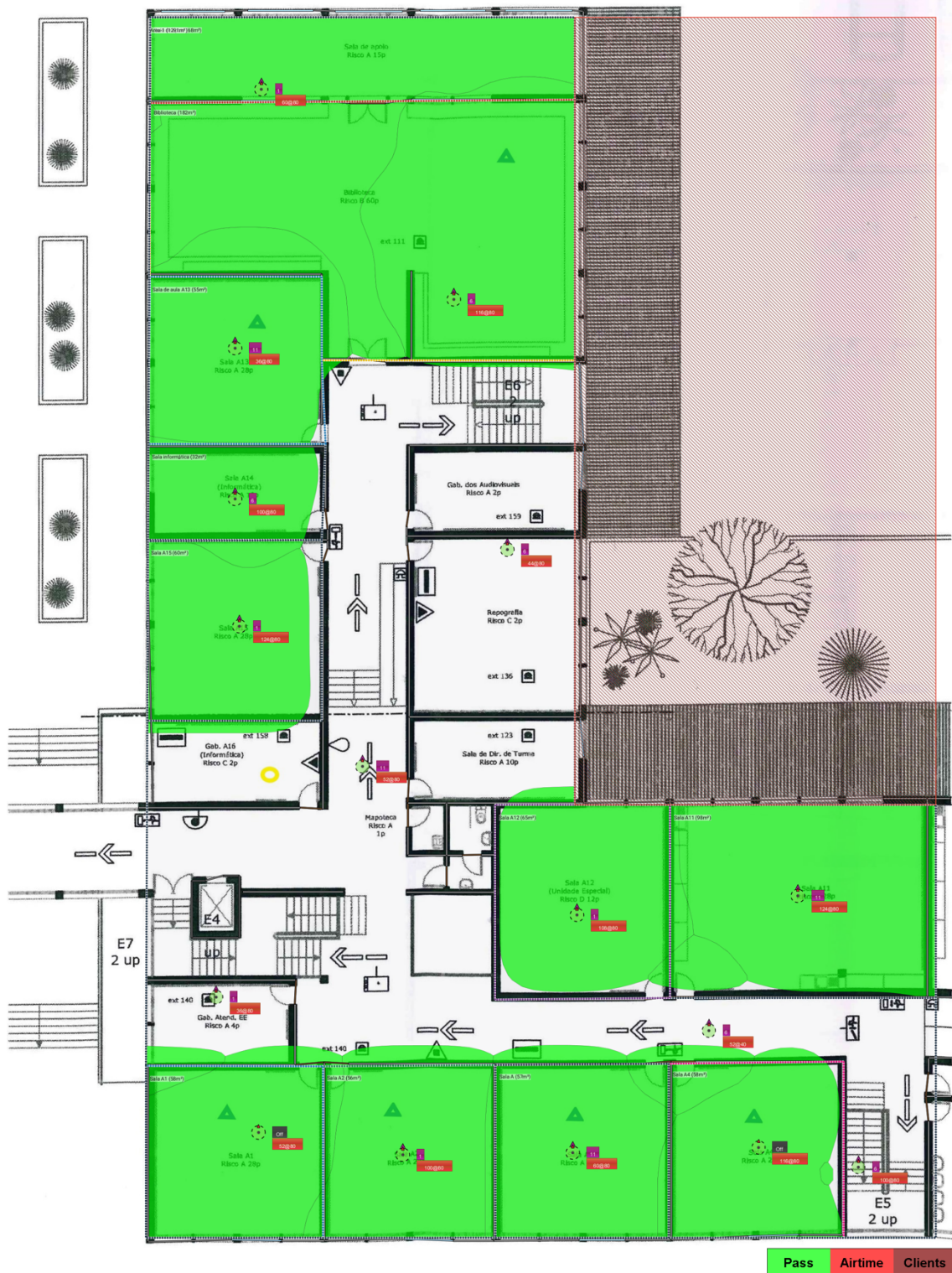


Figura 77 - Heatmap relativo ao parâmetro *Capacity Health* no piso 1 bloco A1

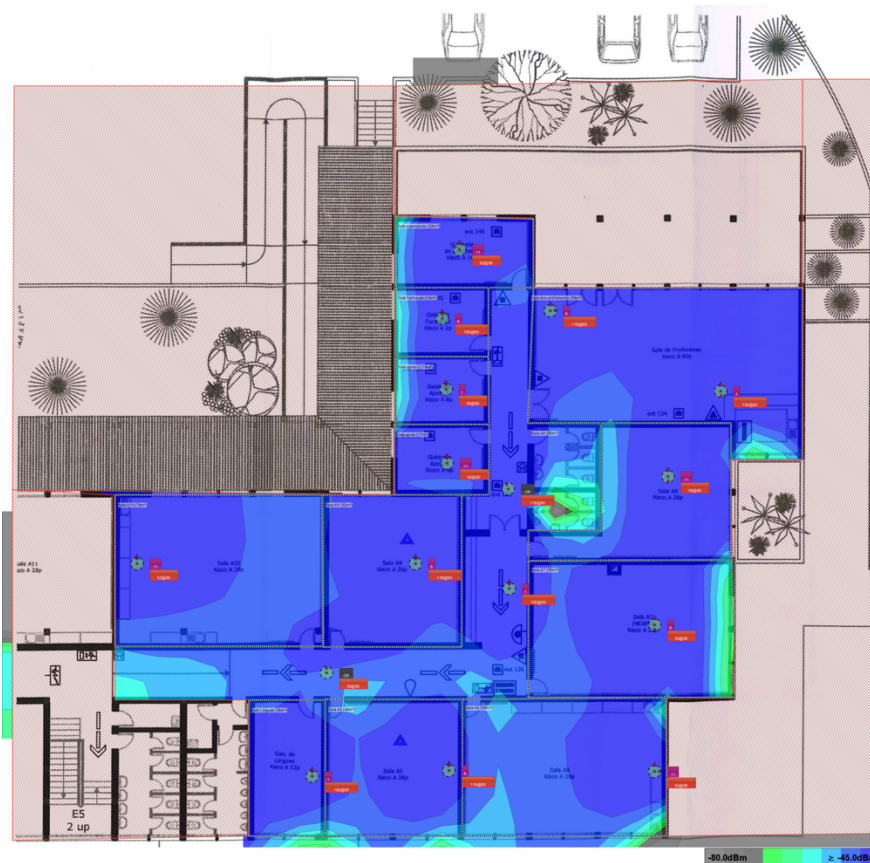


Figura 78 - Heatmap relativo ao RSSI no piso 1 bloco A2



Figura 79 - Heatmap relativo ao Throughput no piso 1 bloco A2

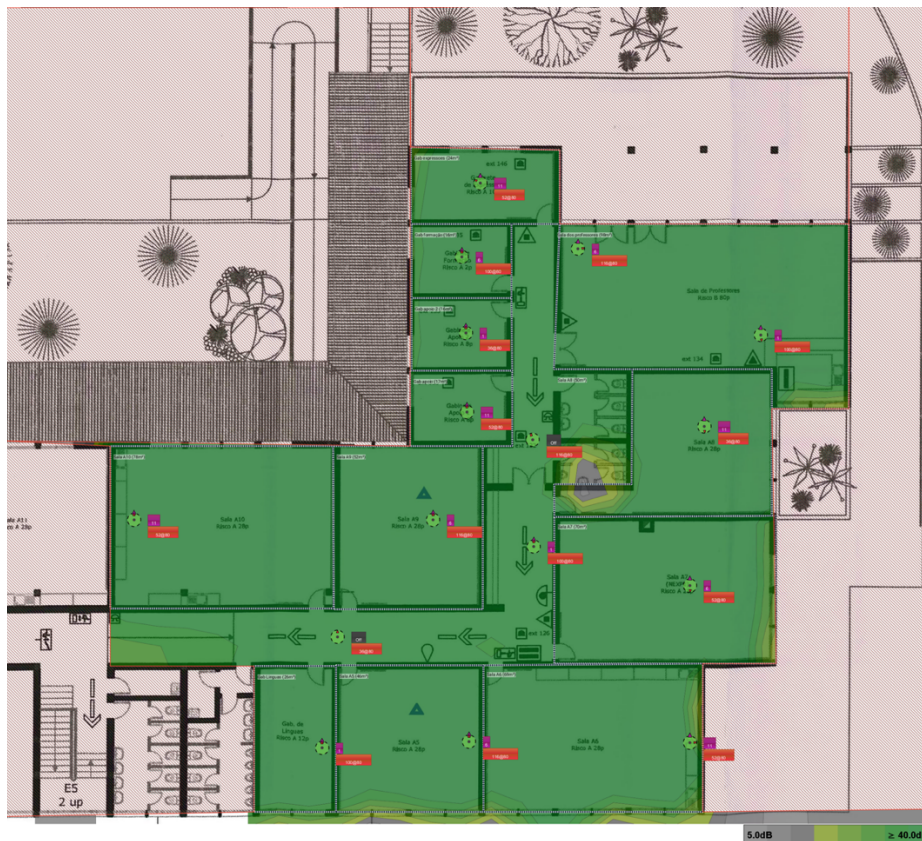


Figura 80 - Heatmap relativo ao SNR no piso 1 bloco A2

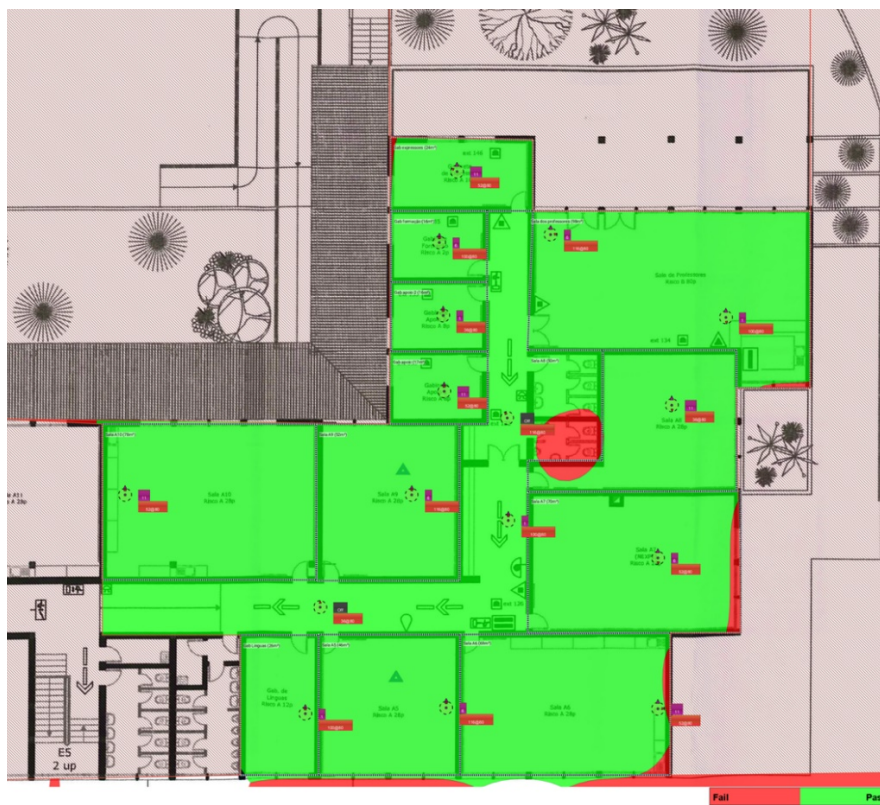


Figura 81 - Heatmap relativo ao parâmetro Network Health no piso 1 bloco A2

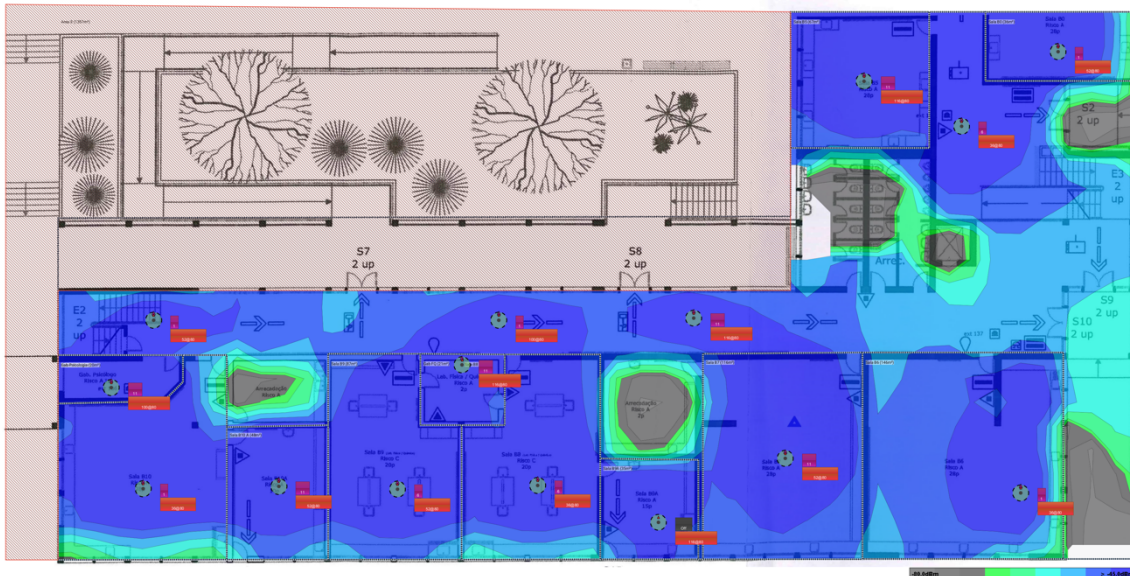


Figura 84 - Heatmap relativo ao RSSI no piso 1 bloco B

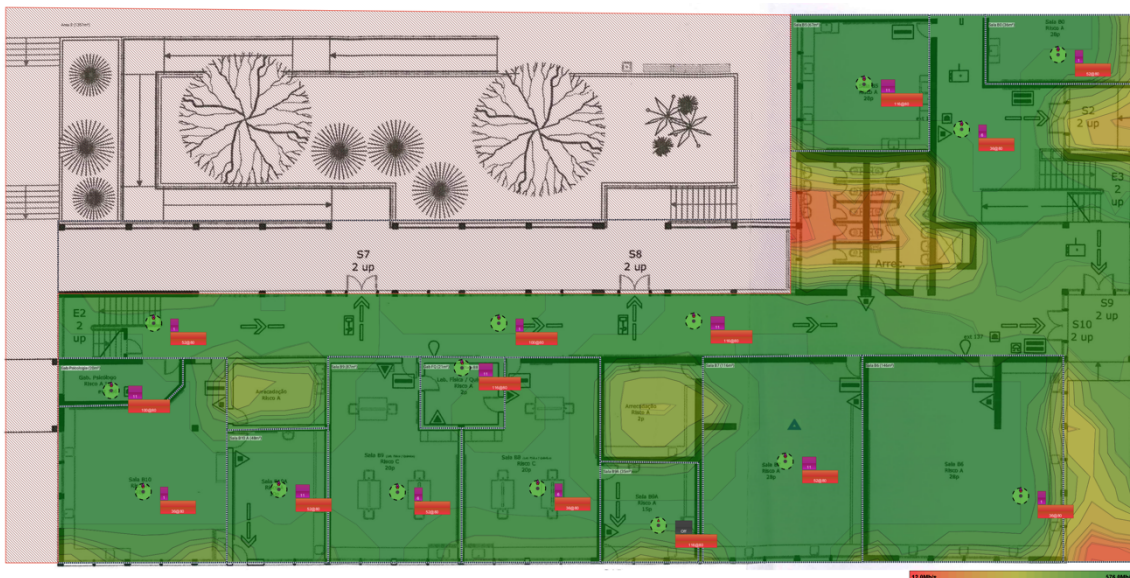


Figura 85 - Heatmap relativo ao Throughput no piso 1 bloco B

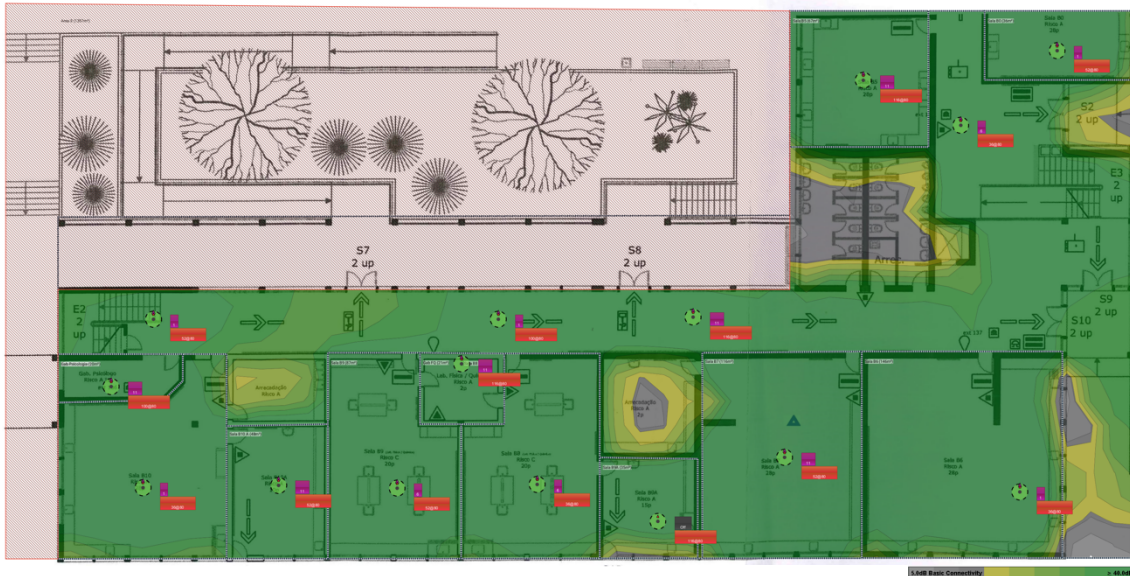


Figura 86 - Heatmap relativo ao SNR no piso 1 bloco B

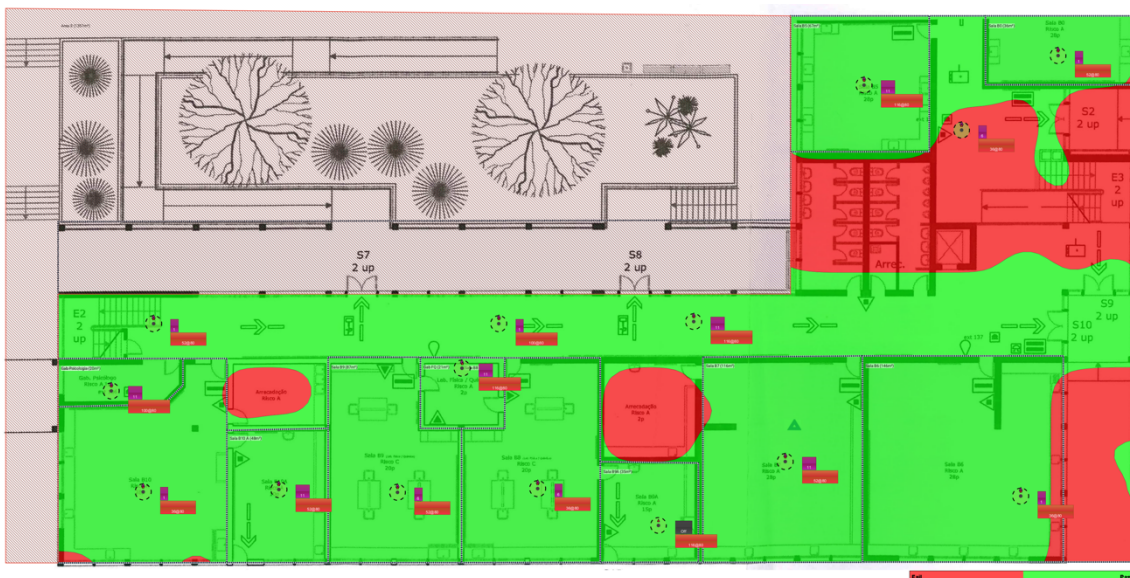


Figura 87 - Heatmap relativo ao Network Health no piso 1 bloco B

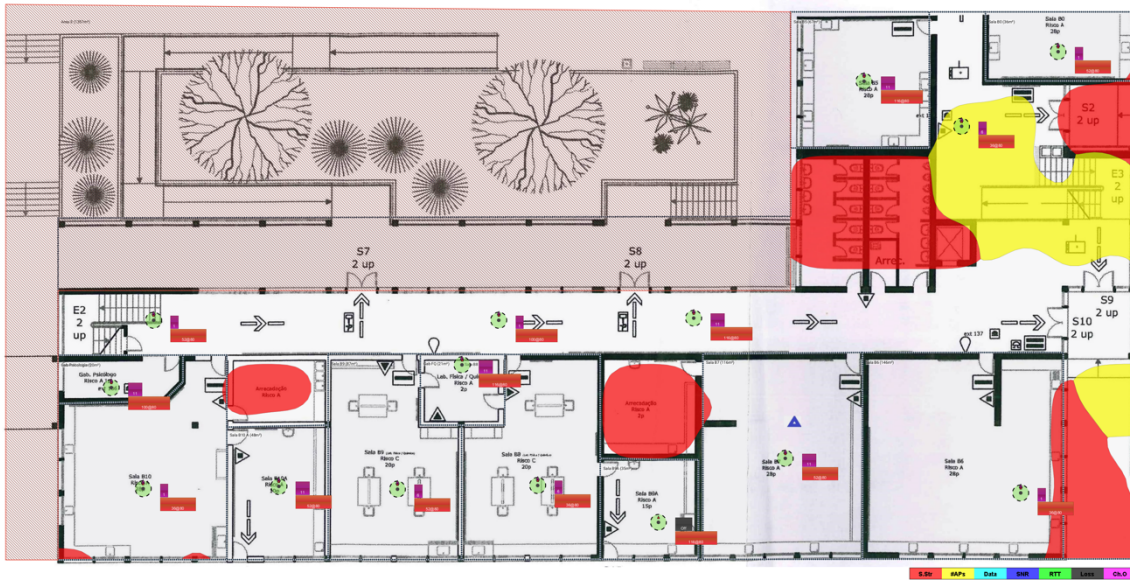


Figura 88 - Heatmap relativo ao *Network Issues* no piso 1 bloco B

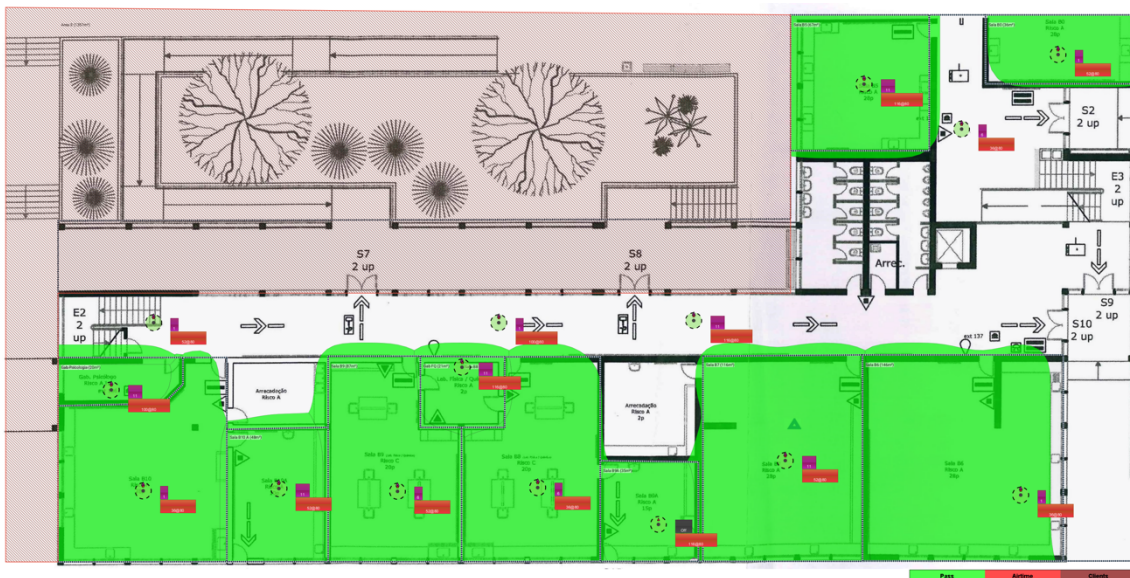


Figura 89 - Heatmap relativo ao *Capacity Health* no piso 1 bloco B

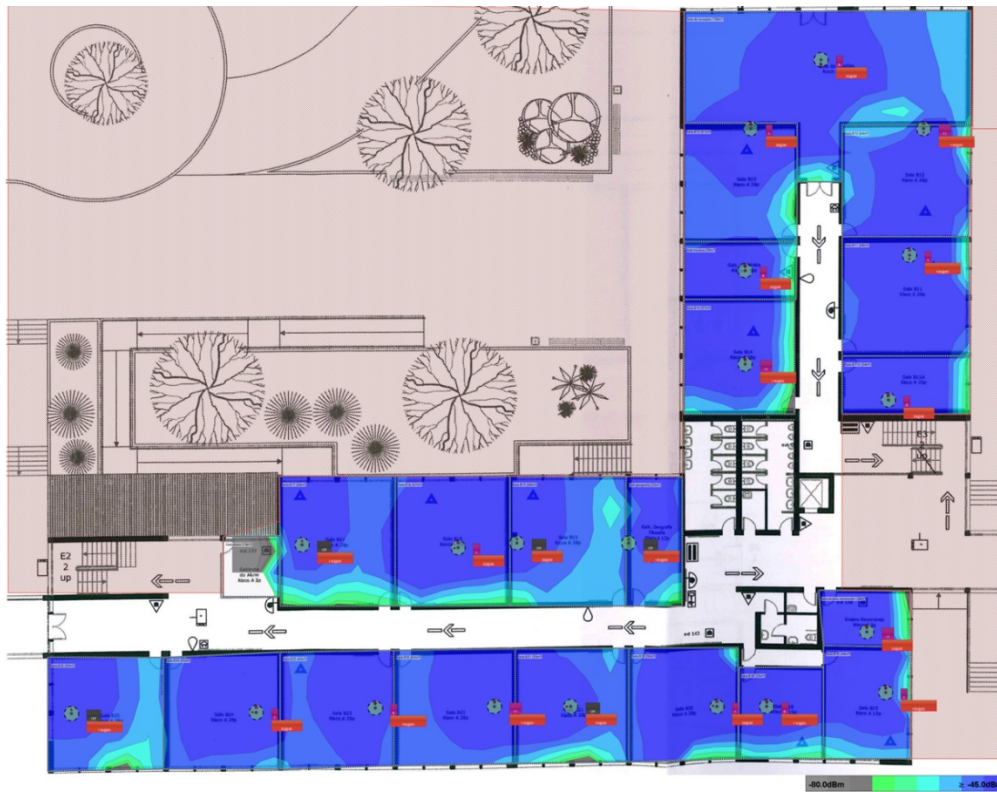


Figura 90 - Heatmap relativo ao RSSI no piso 2 bloco B



Figura 91 - Heatmap relativo ao Throughput no piso 2 bloco B



Figura 92 - Heatmap relativo ao SNR no piso 2 bloco B

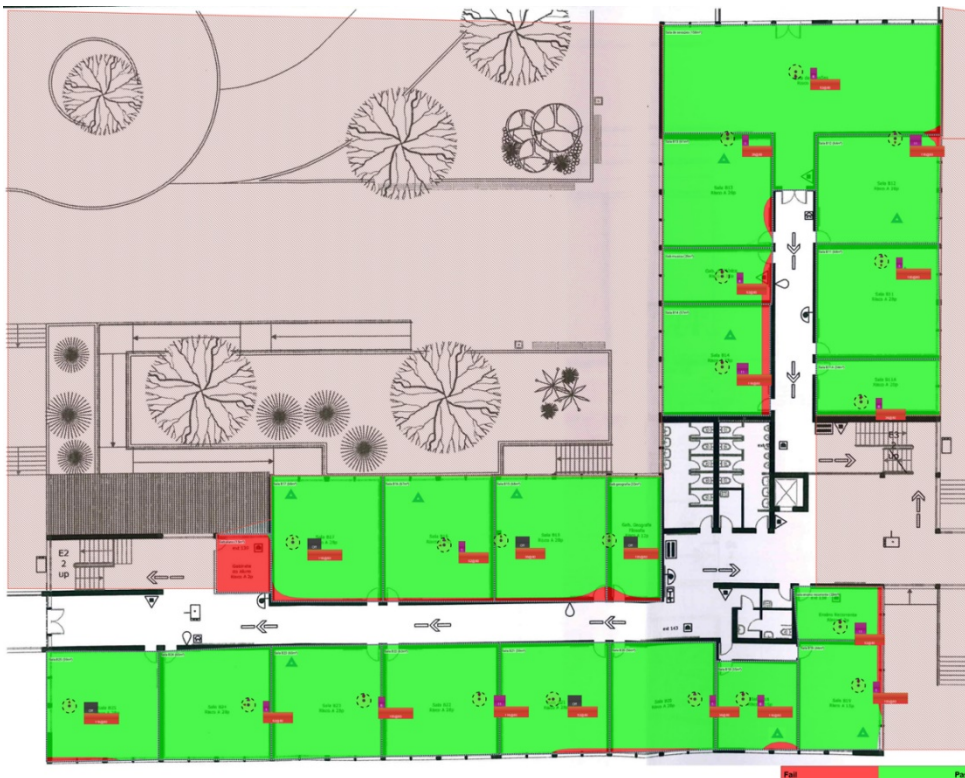


Figura 93 - Heatmap relativo ao Network Health no piso 2 bloco B

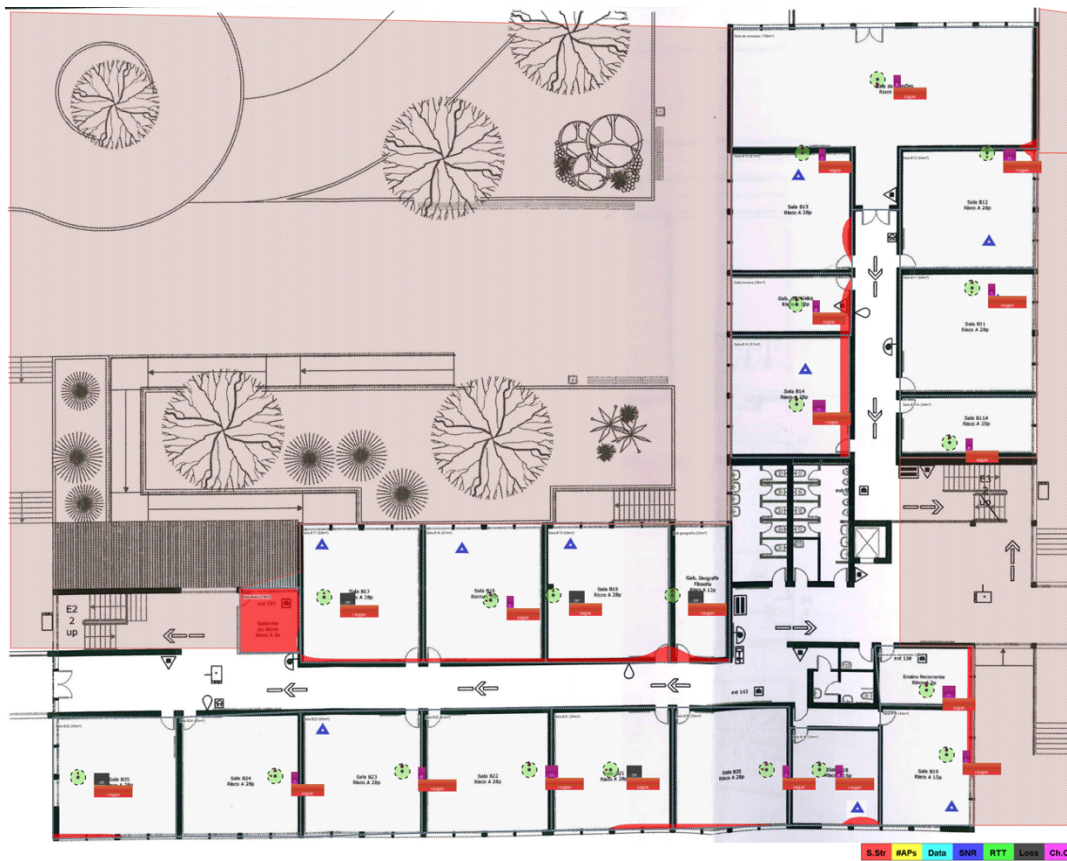


Figura 94 - Heatmap relativo ao *Network Issues* no piso 2 bloco B



Figura 95 - Heatmap relativo ao *Capacity Health* no bloco B piso 2

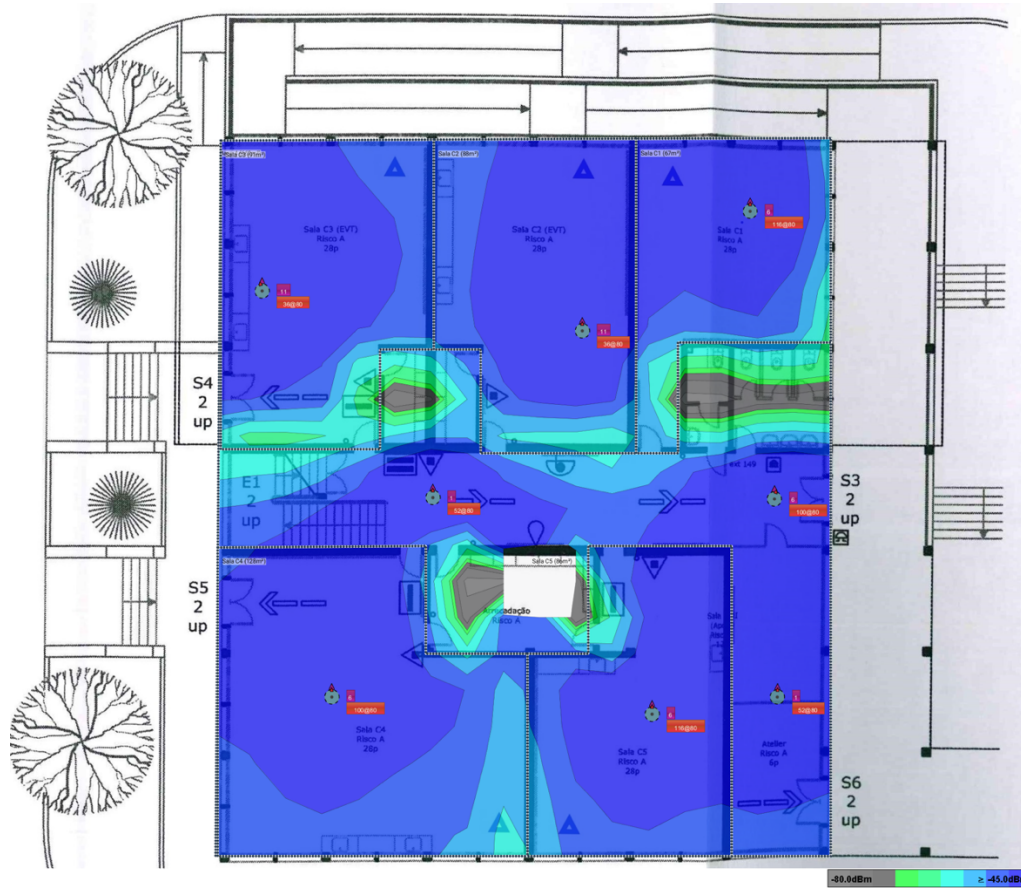


Figura 96 - Heatmap relativo ao RSSI no piso 0 bloco C

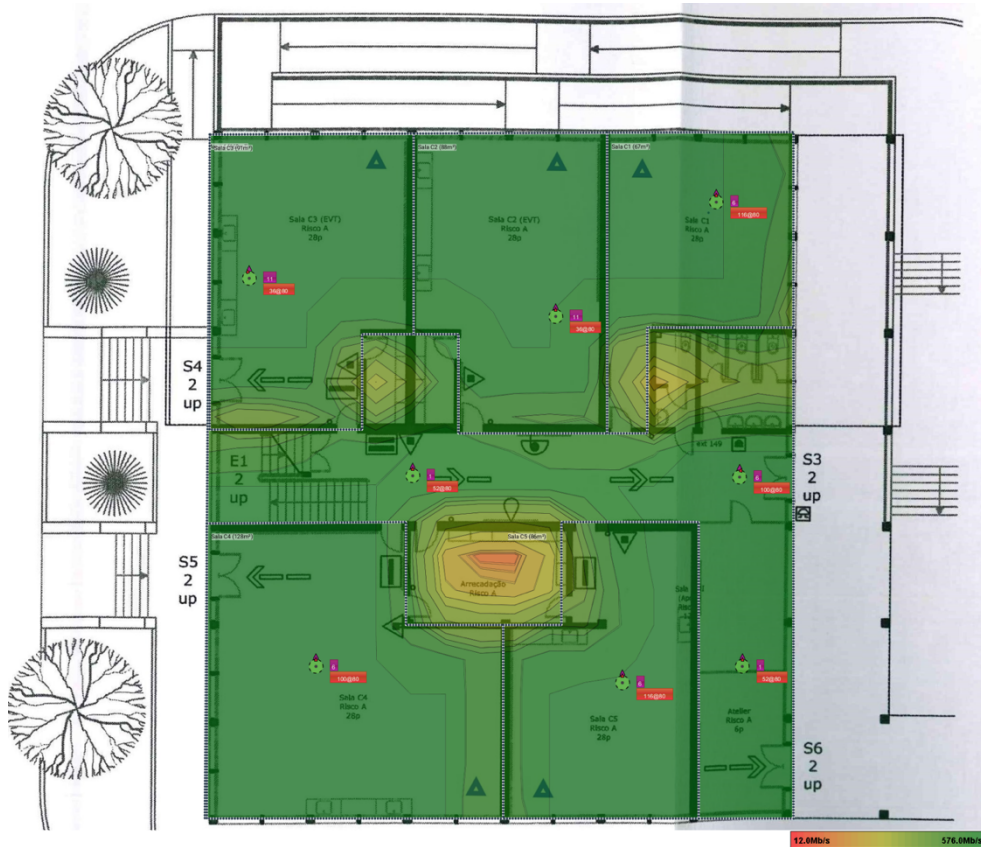


Figura 97 - Heatmap relativo ao Throughput no piso 0 bloco C

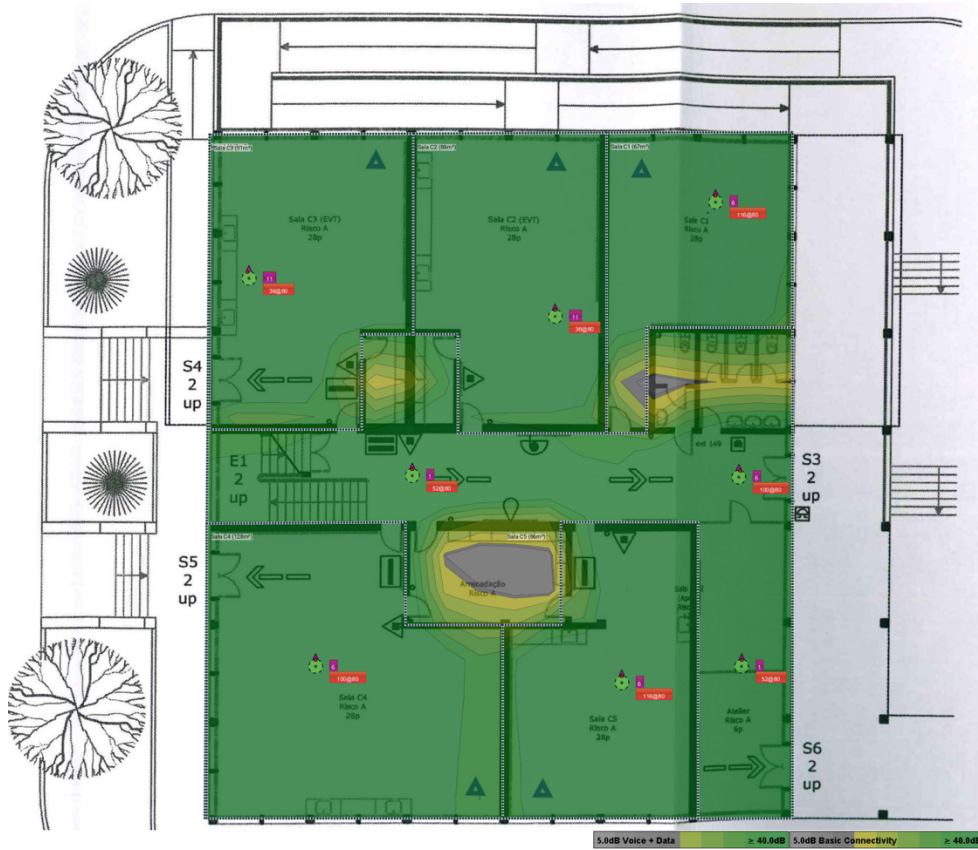


Figura 98 - Heatmap relativo ao SNR no piso 0 bloco C

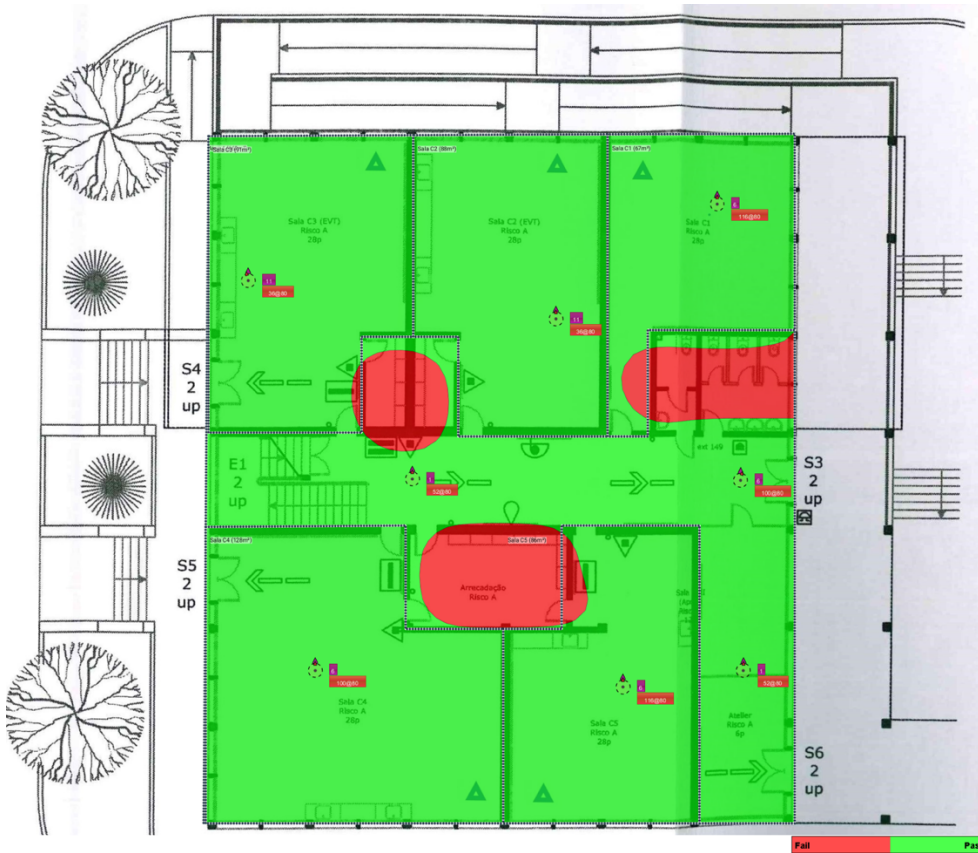


Figura 99 - Heatmap relativo ao Network Health no piso 0 bloco C

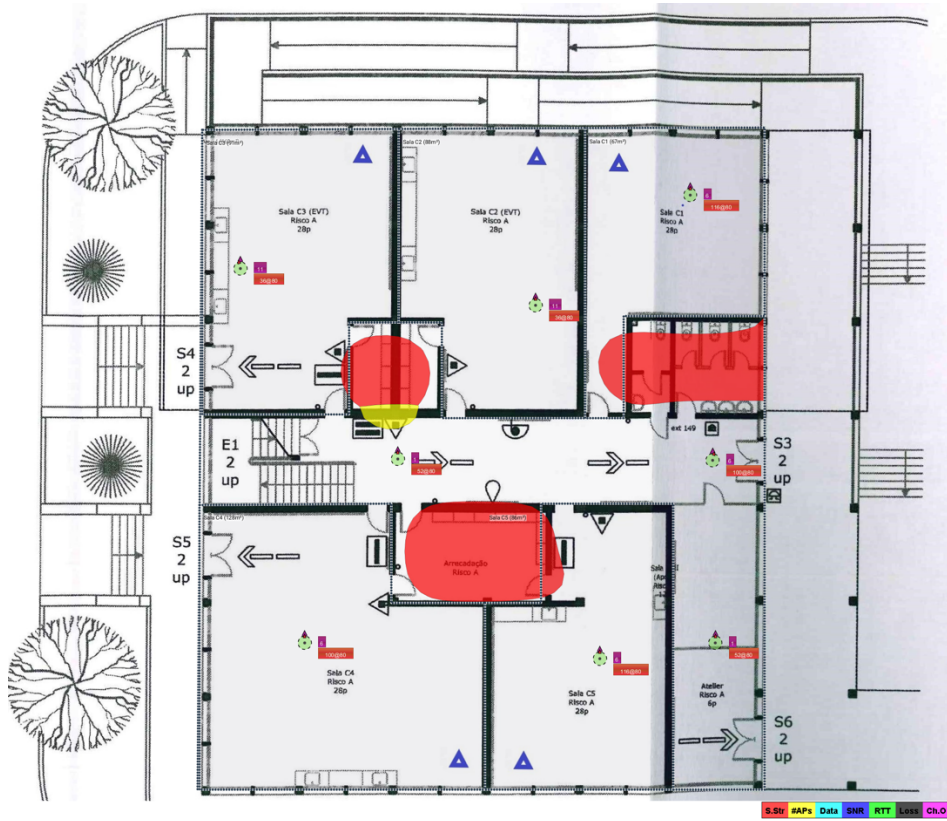


Figura 100 - Heatmap relativo ao Network Issues no piso 0 Bloco C

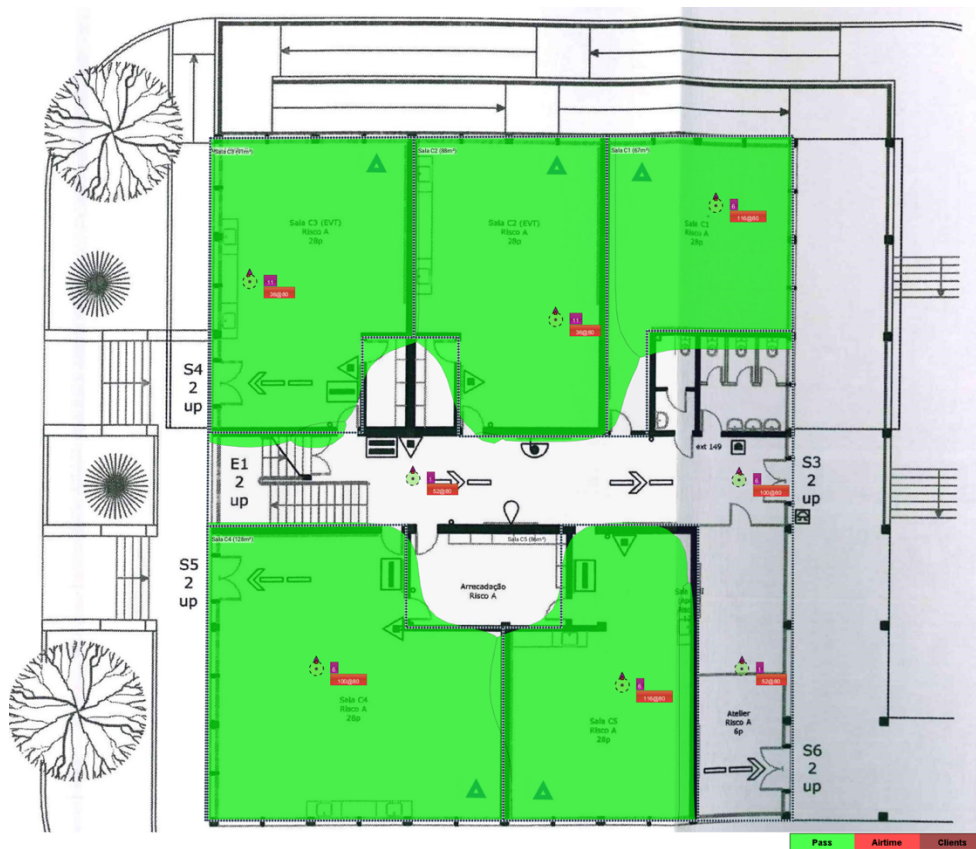


Figura 101 - Heatmap relativo ao Capacity Health no piso 0 bloco C

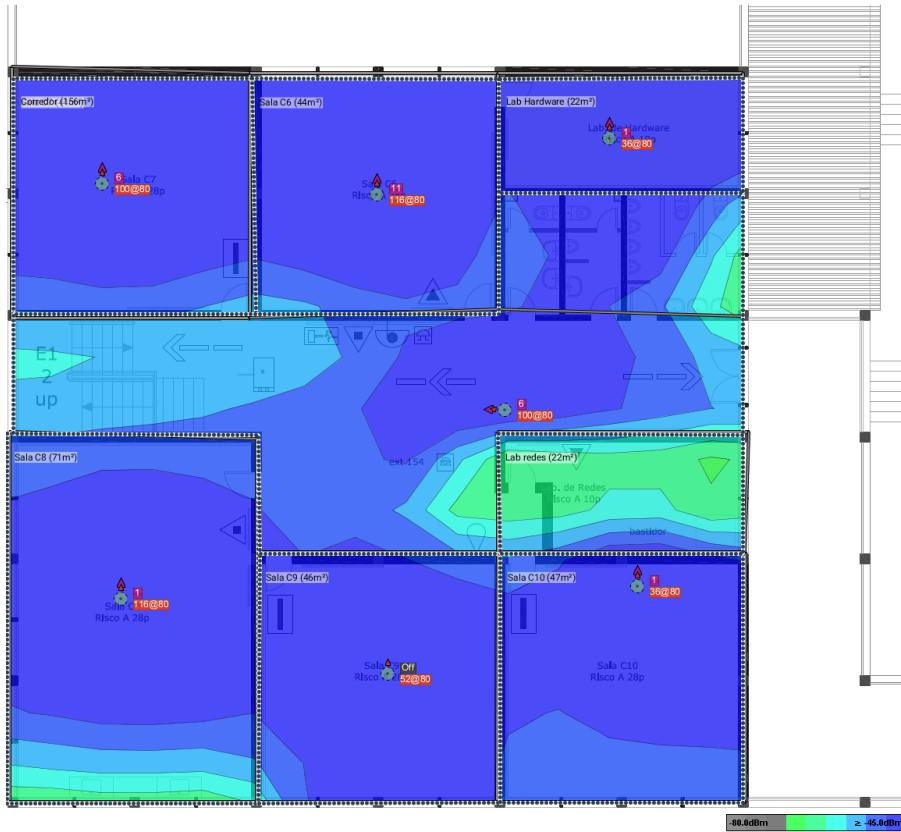


Figura 102 - Heatmap do RSSI no piso 1 Bloco C

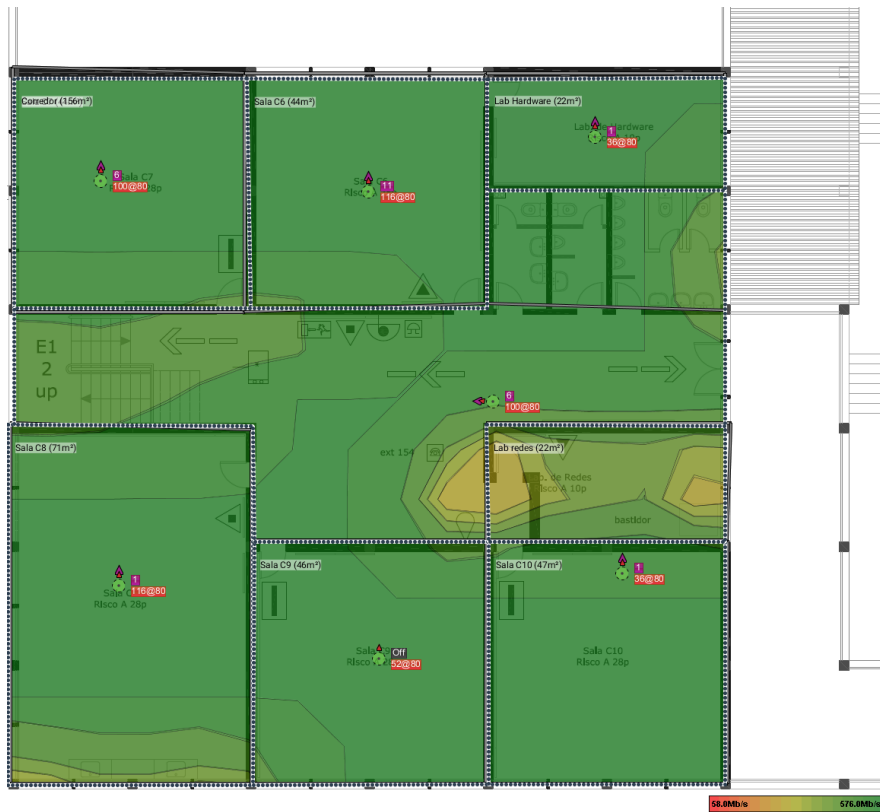


Figura 103 - Heatmap do Throughput no piso 1 bloco C

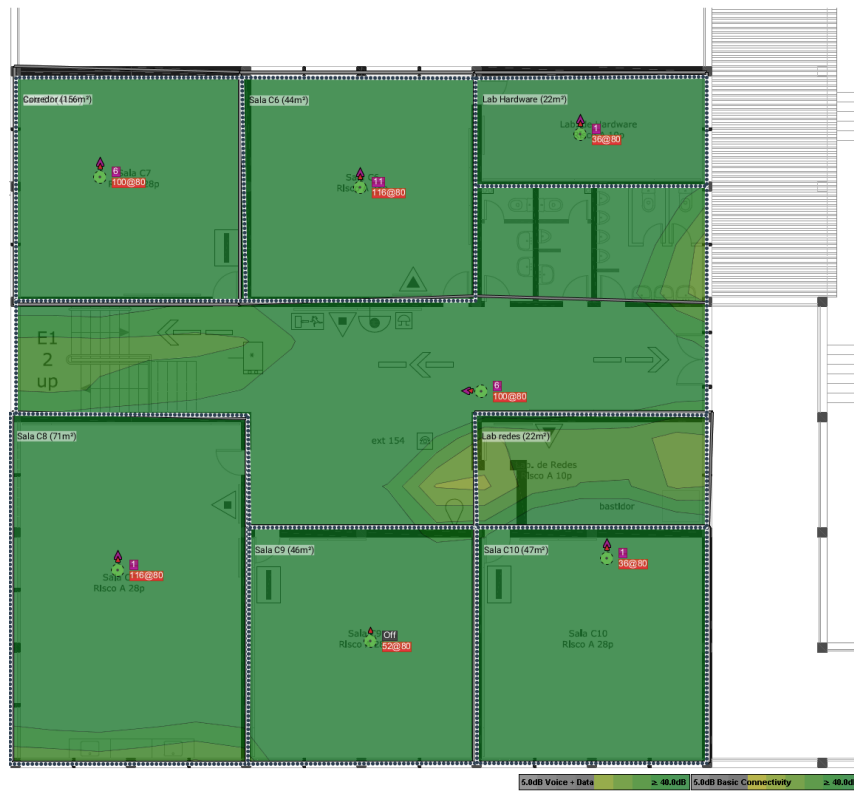


Figura 104 - Heatmap do SNR no piso 1 bloco C

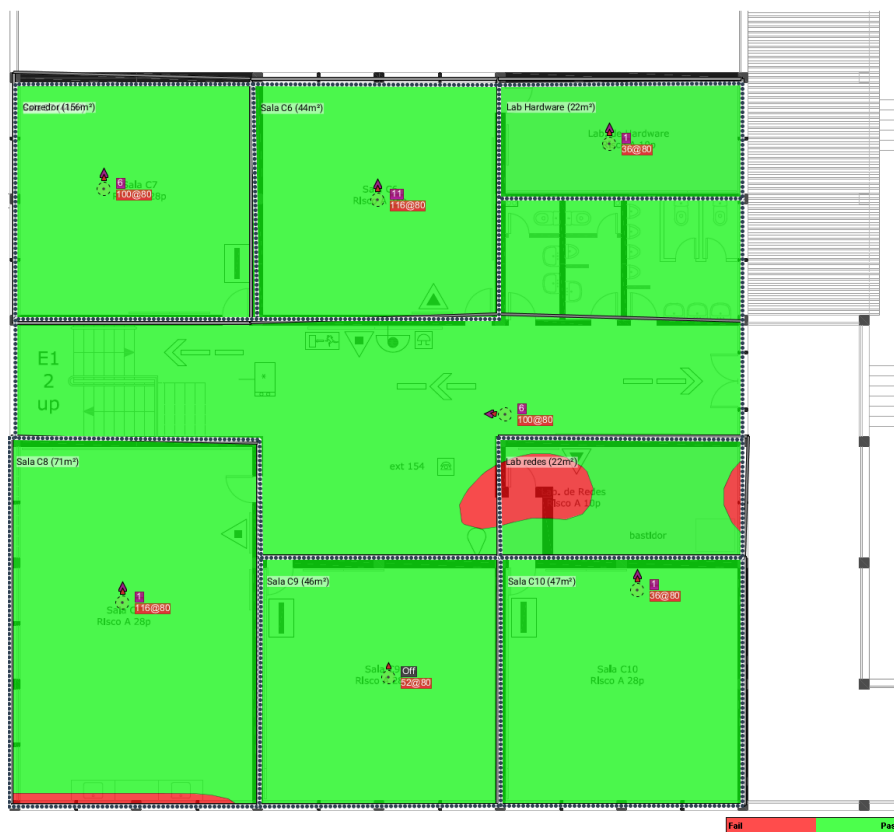


Figura 105 - Heatmap do Network Health no piso 1 bloco C



Figura 106 - Heatmap do Network Issues no piso 1 bloco C



Figura 107 - Heatmap do Capacity Health piso 1 bloco C

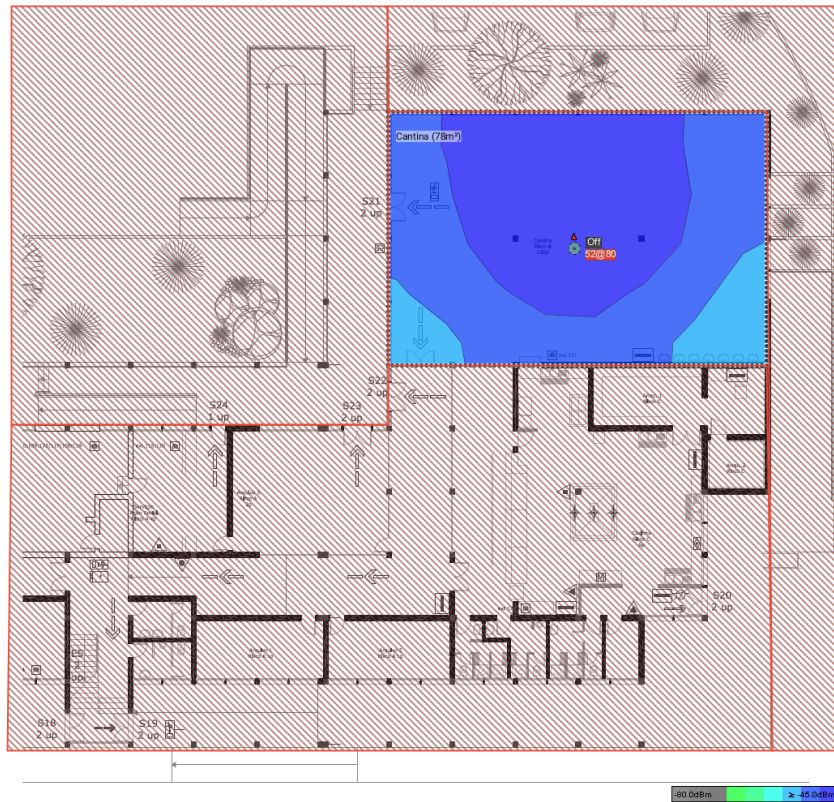


Figura 108 - Heatmap relativo ao RSSI na cantina

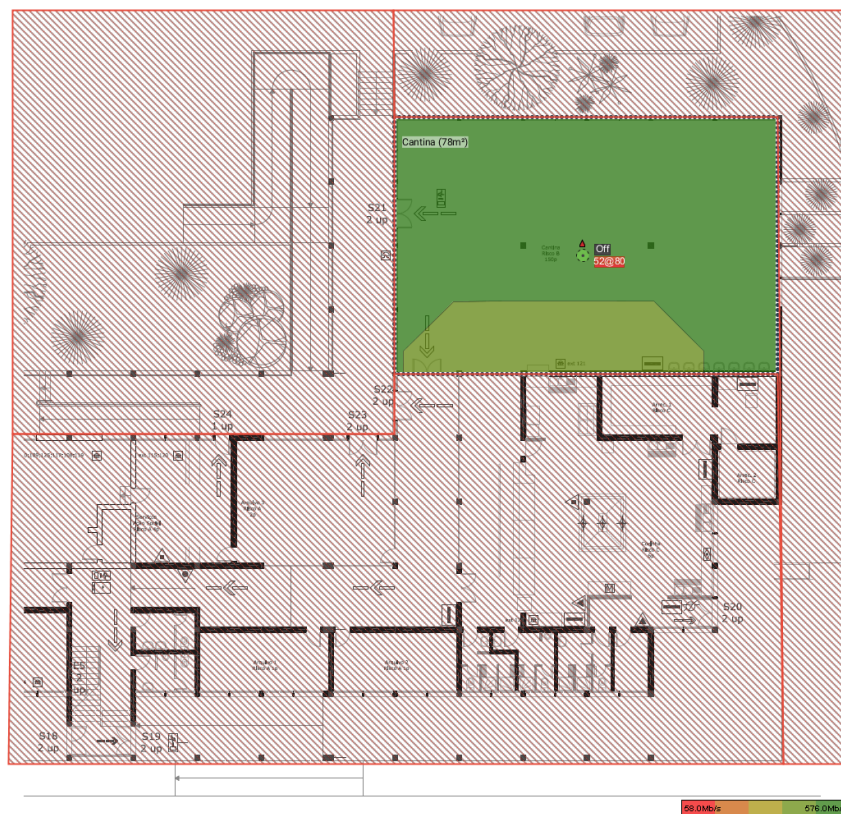


Figura 109 - Heatmap relativo ao Throughput na cantina

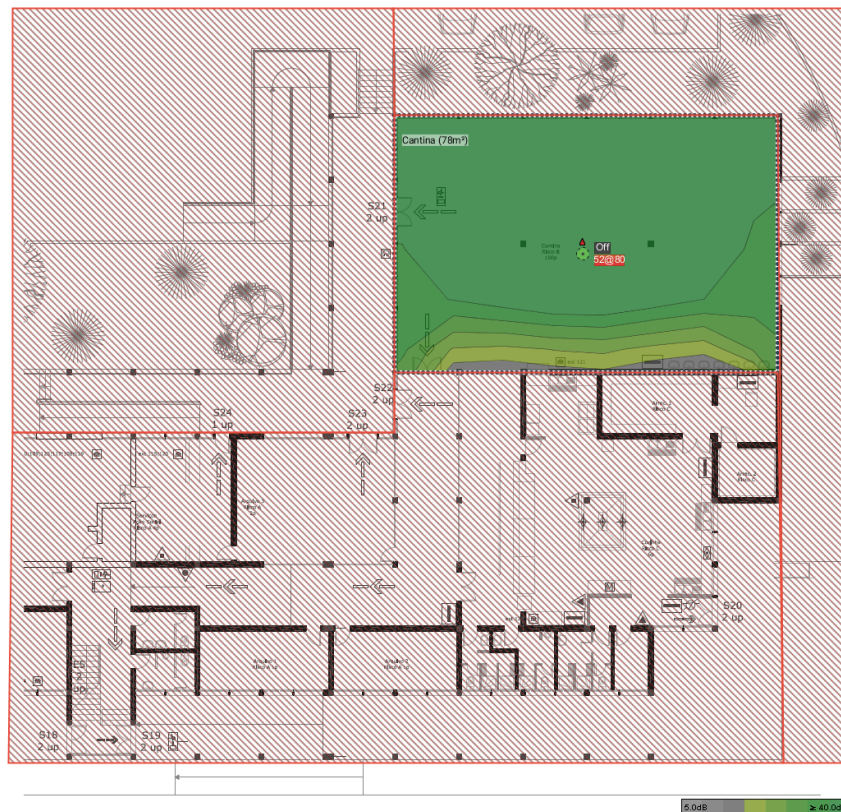


Figura 110 - Heatmap relativo ao SNR na cantina

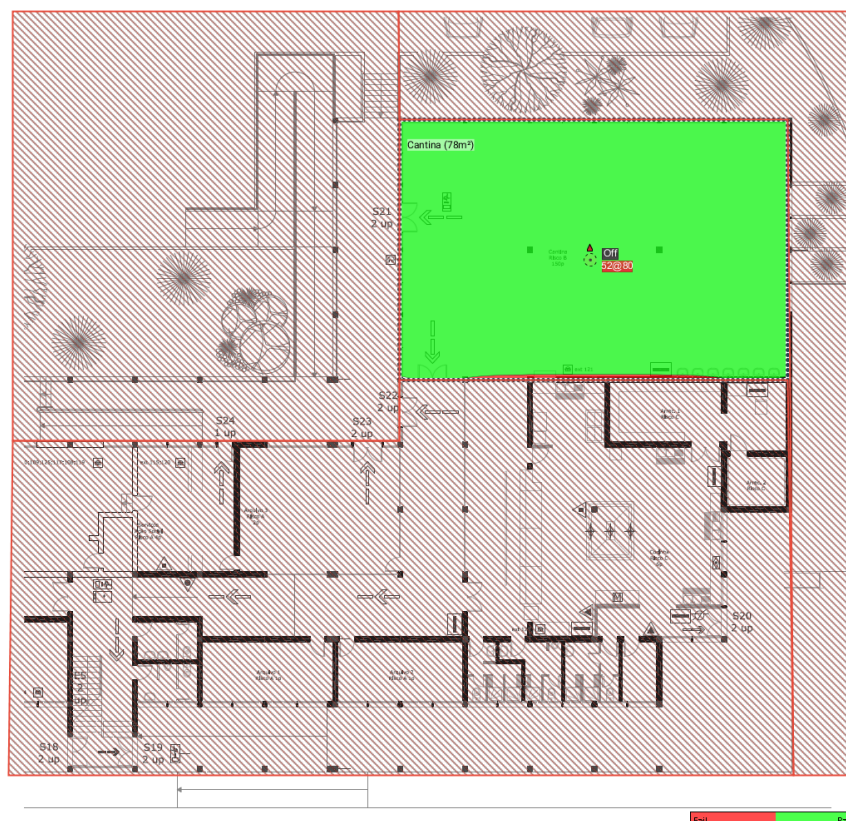


Figura 111 - Heatmap relativo ao Network Health na cantina

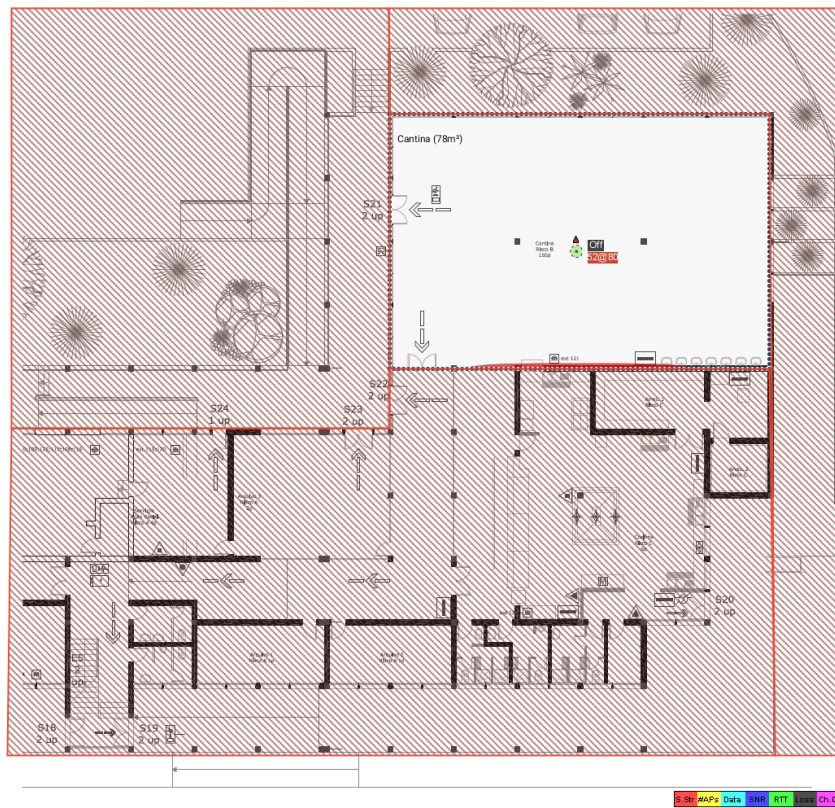


Figura 112 - Heatmap relativo ao Network Issues na cantina

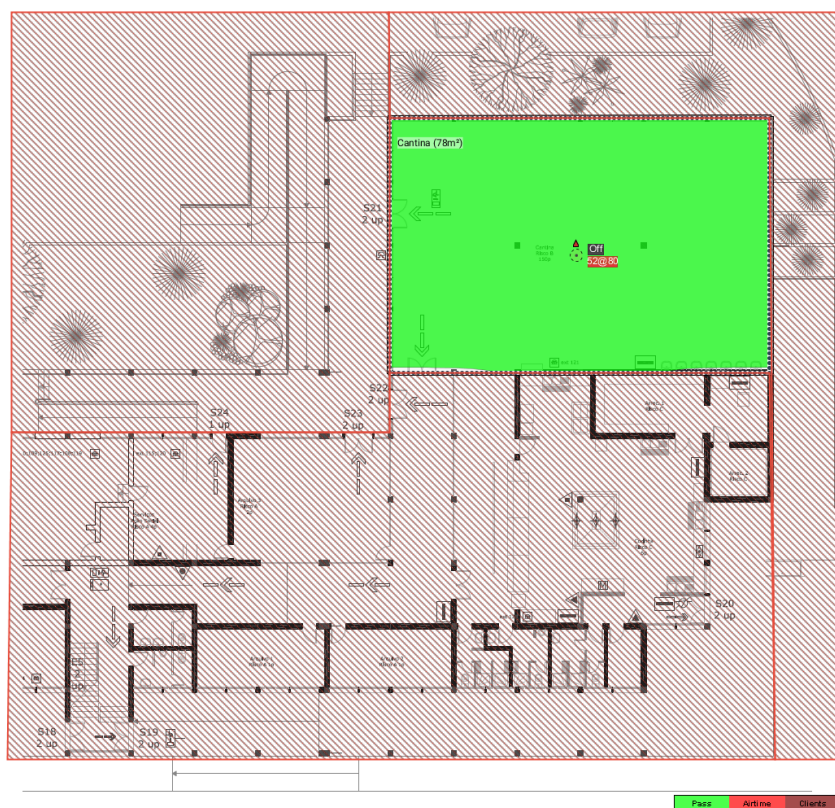


Figura 113 - Heatmap relativo ao Capacity Health na cantina

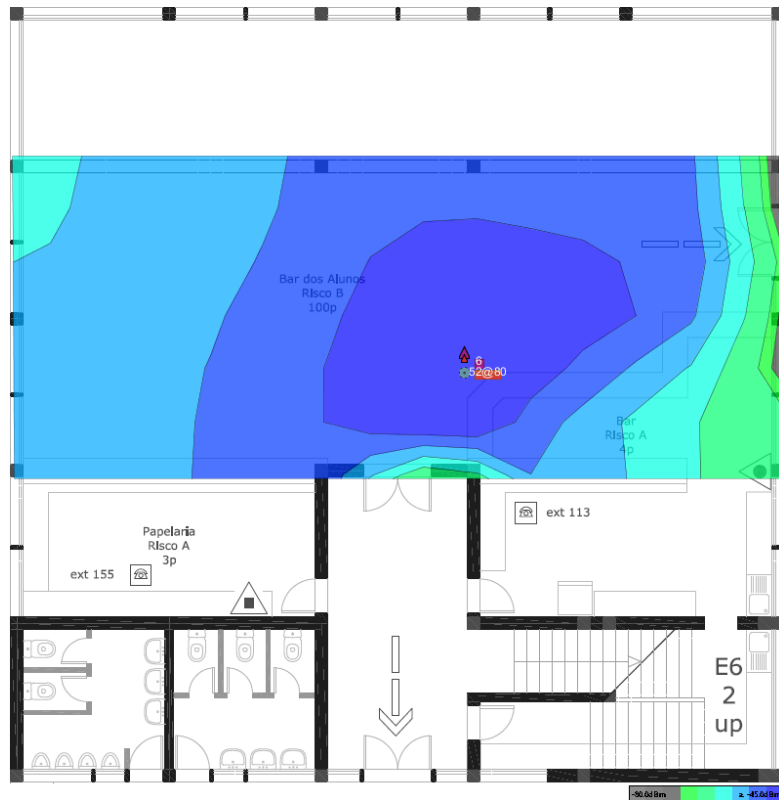


Figura 114 – Heatmap do RSSI no Bar dos alunos

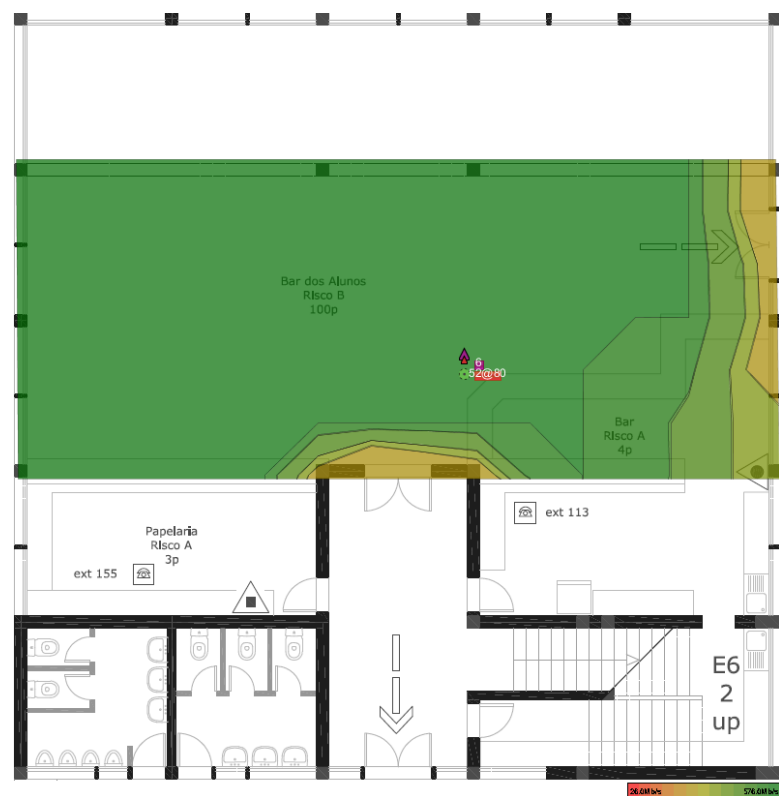


Figura 115 - Heatmap do Throughput no Bar dos alunos

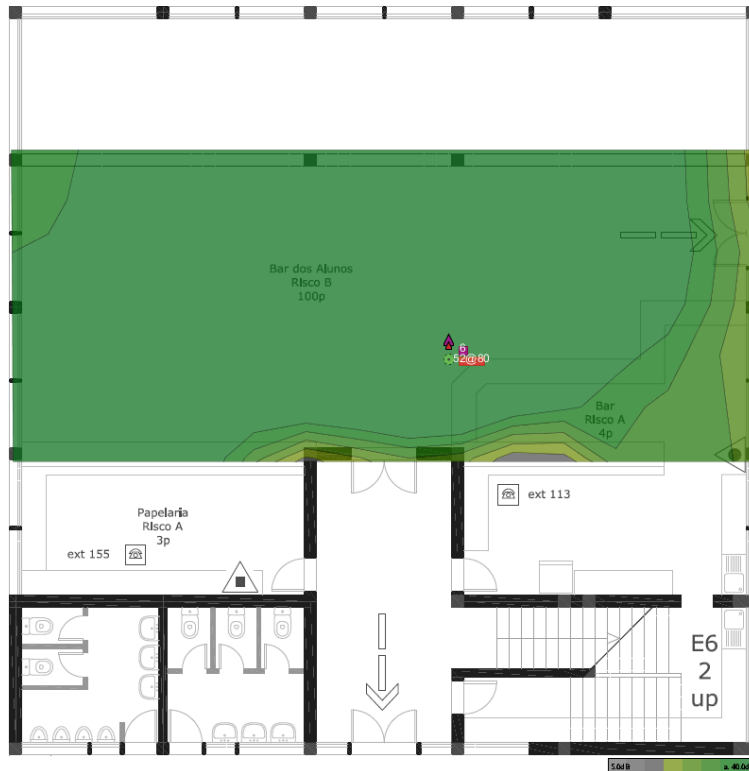


Figura 116 - Heatmap do SNR no Bar dos alunos

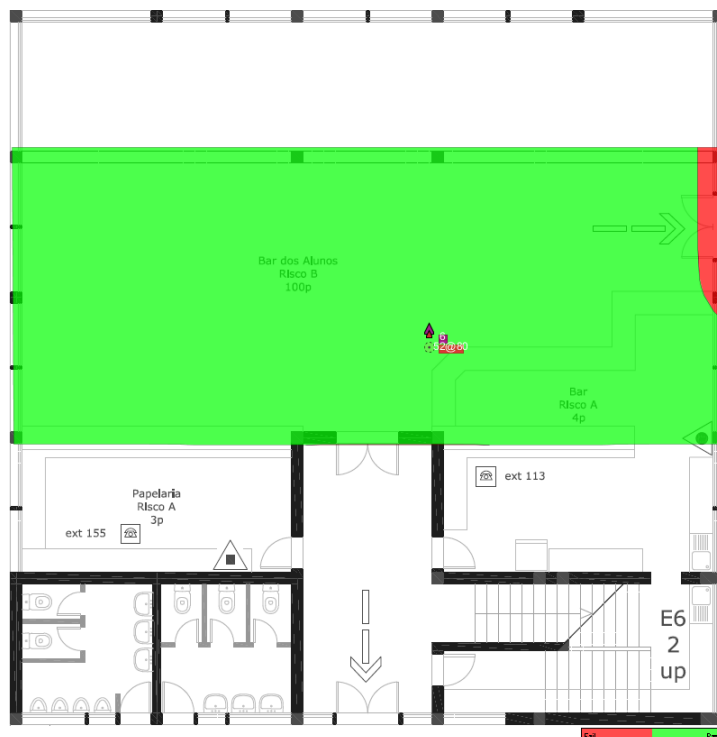


Figura 117 - Heatmap do Network Health no Bar dos alunos

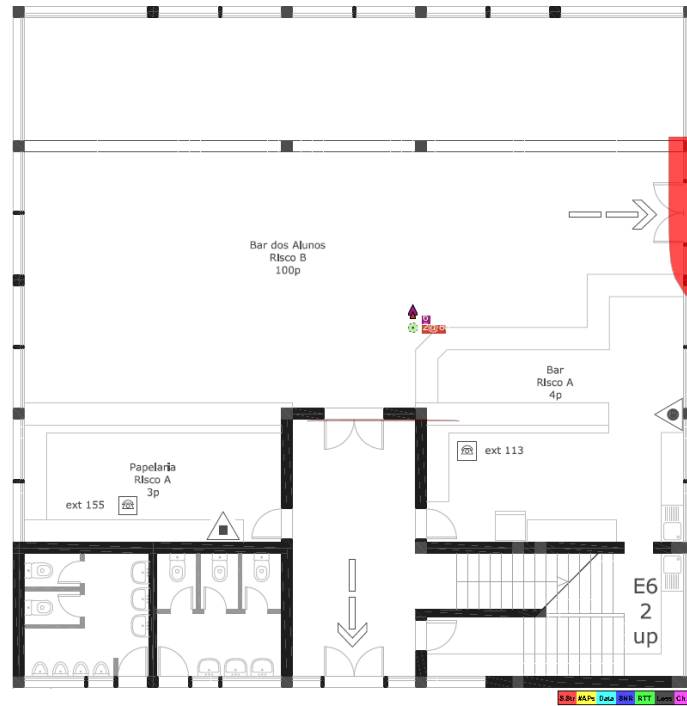


Figura 118 - Heatmap do Network Issues no Bar dos alunos

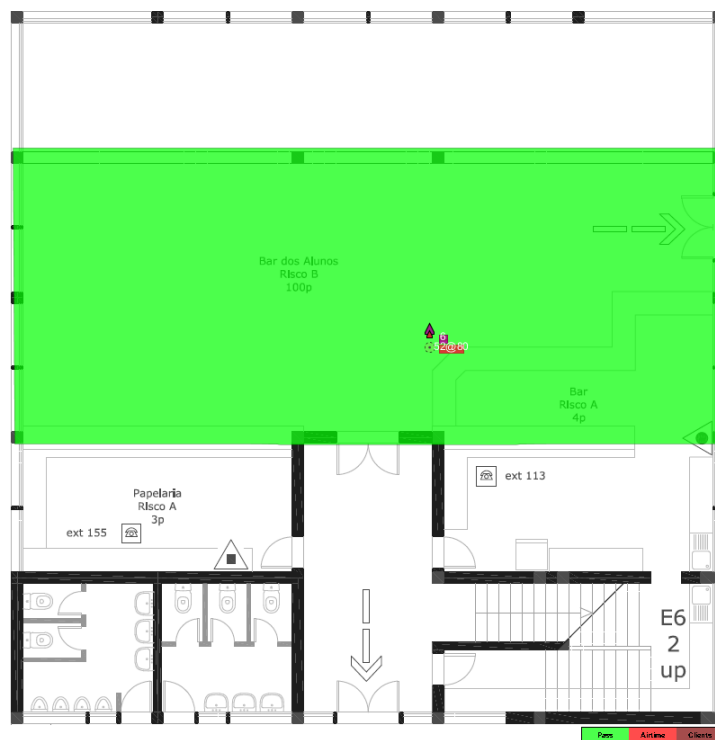


Figura 119 - Heatmap do Capacity Health no Bar dos alunos

Anexo E – Dimensionamento das ligações

Neste anexo são apresentadas as tabelas com os dimensionamentos das ligações de débito agregadas para as zonas do bloco B e do bloco C.

Tabela 21 - Dimensionamento do débito LAN (Bloco B)

Aplicação	Débito nominal (Kbps)	Débito exceção (Kbps)	Nº de fluxos montante	Nº de fluxos jusante	Fator de simultaneidade	Débito total por aplicação (Kbps)
<i>Web Browsing</i>	500	1024	140	140	1	70.000
Conteúdo áudio	100	1024	140	140	1	14.000
<i>Streaming de vídeo</i>	2048	4096	140	140	1	286.720
Partilha de ficheiros	1024	2048	140	140	1	143.360
Necessidade total de débito na ligação agregada						514.080
Capacidade mínima da ligação						4096
Margem de débito para evolução						485.920
Especificação de débito da ligação agregada						1000.000
Taxa nominal de utilização da ligação agregada						48%

Tabela 22 - Dimensionamento do débito LAN (Bloco C)

Aplicação	Débito nominal (Kbps)	Débito exceção (Kbps)	Nº de fluxos montante	Nº de fluxos jusante	Fator de simultaneidade	Débito total por aplicação (Kbps)
<i>Web Browsing</i>	500	1024	100	100	1	50.000
Conteúdo áudio	100	1024	100	100	1	10.000
<i>Streaming de vídeo</i>	2048	4096	100	100	1	204.800
Partilha de ficheiros	1024	2048	100	100	1	102.400
Necessidade total de débito na ligação agregada						367.200
Capacidade mínima da ligação						4096
Margem de débito para evolução						632.800
Especificação de débito da ligação agregada						1000.000
Taxa nominal de utilização da ligação agregada						63%

Anexo F - Pós-survey ativo e passivo

Este anexo mostra os resultados do pós-survey ativo e passivo realizado na Escola Básica e secundária Gonçalves Zarco.

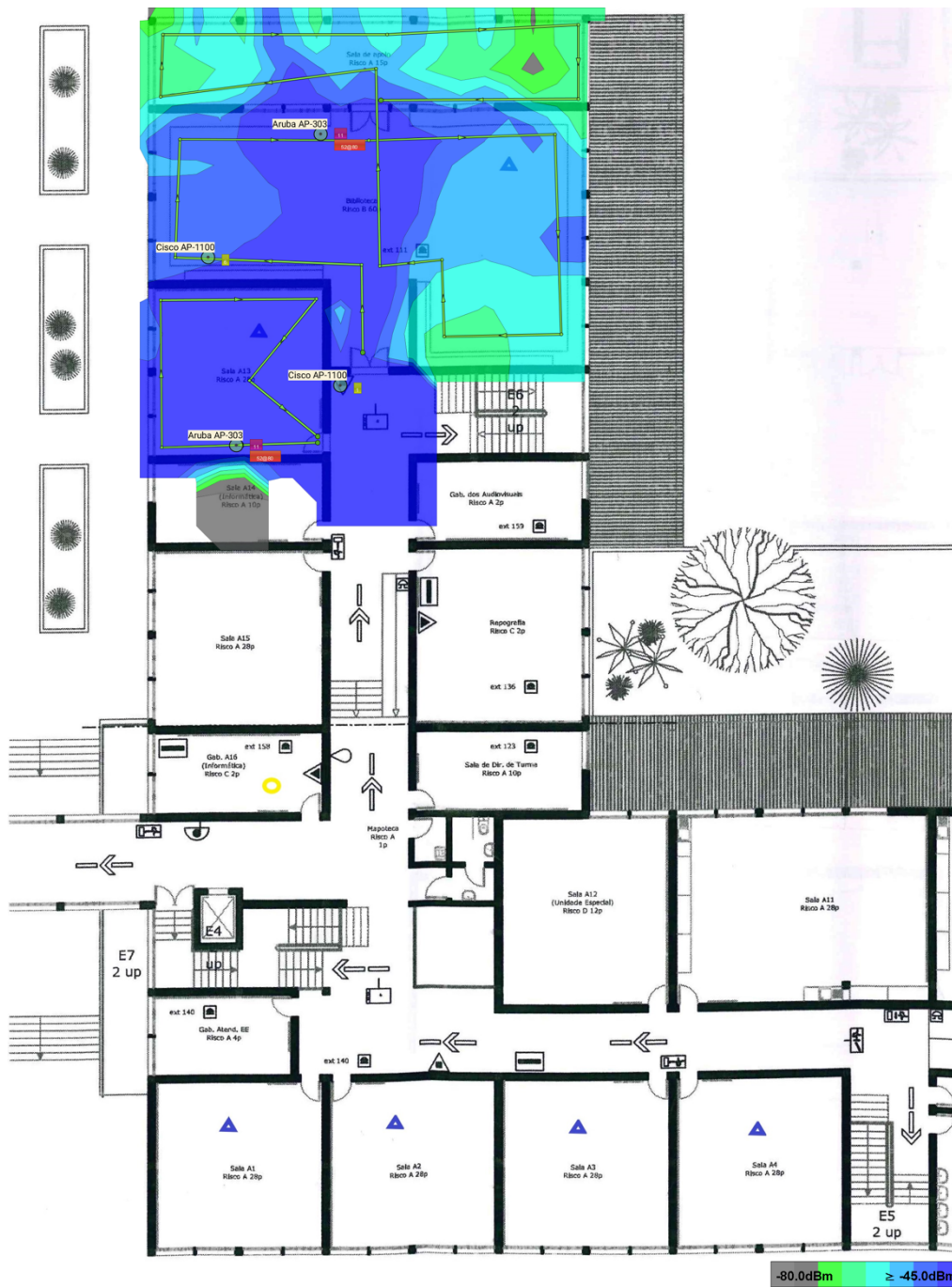


Figura 120 - Heatmap relativo ao RSSI no piso 1 Bloco A

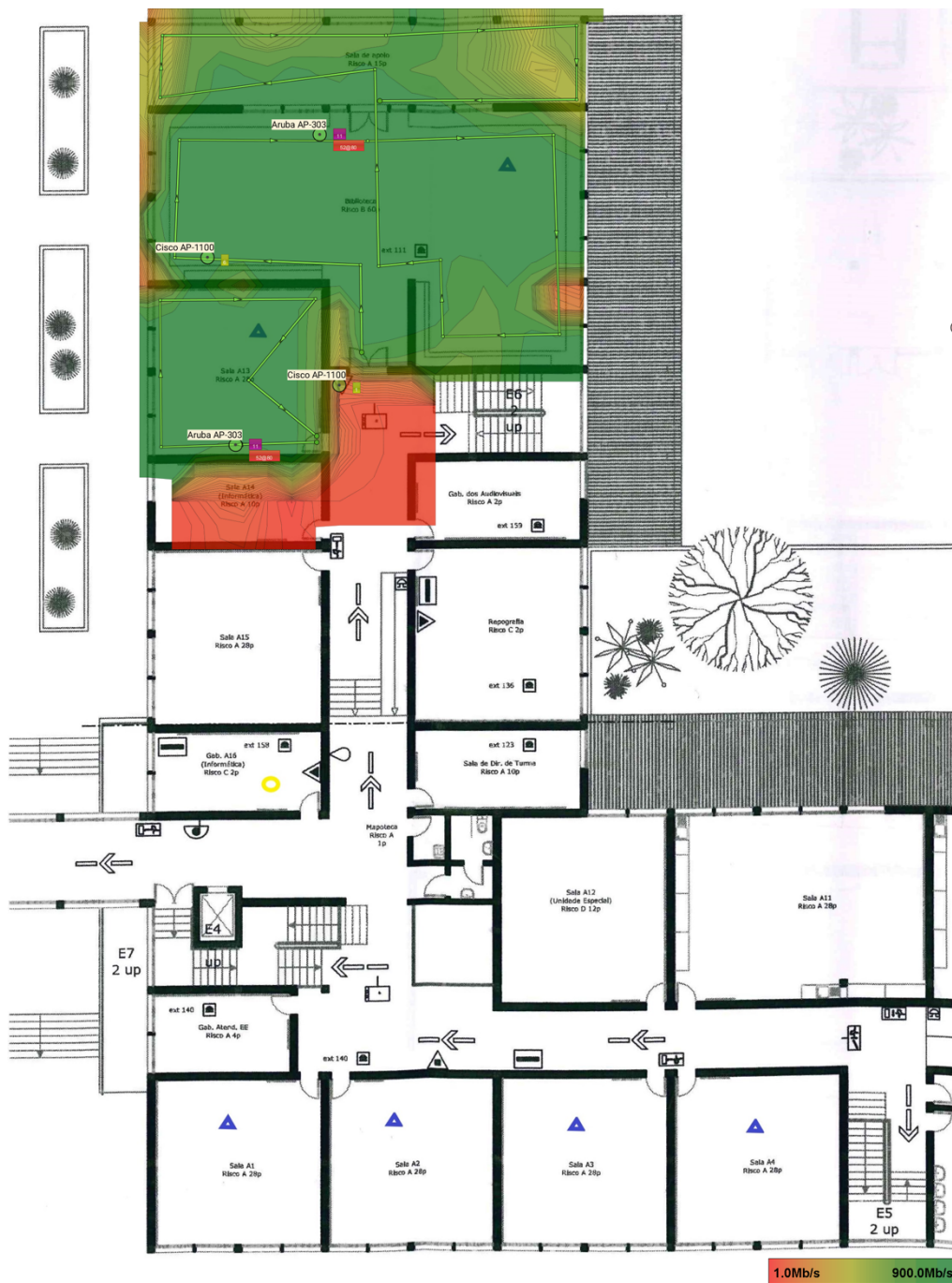


Figura 121 - Heatmap relativo ao Data Rate no piso 1 Bloco A

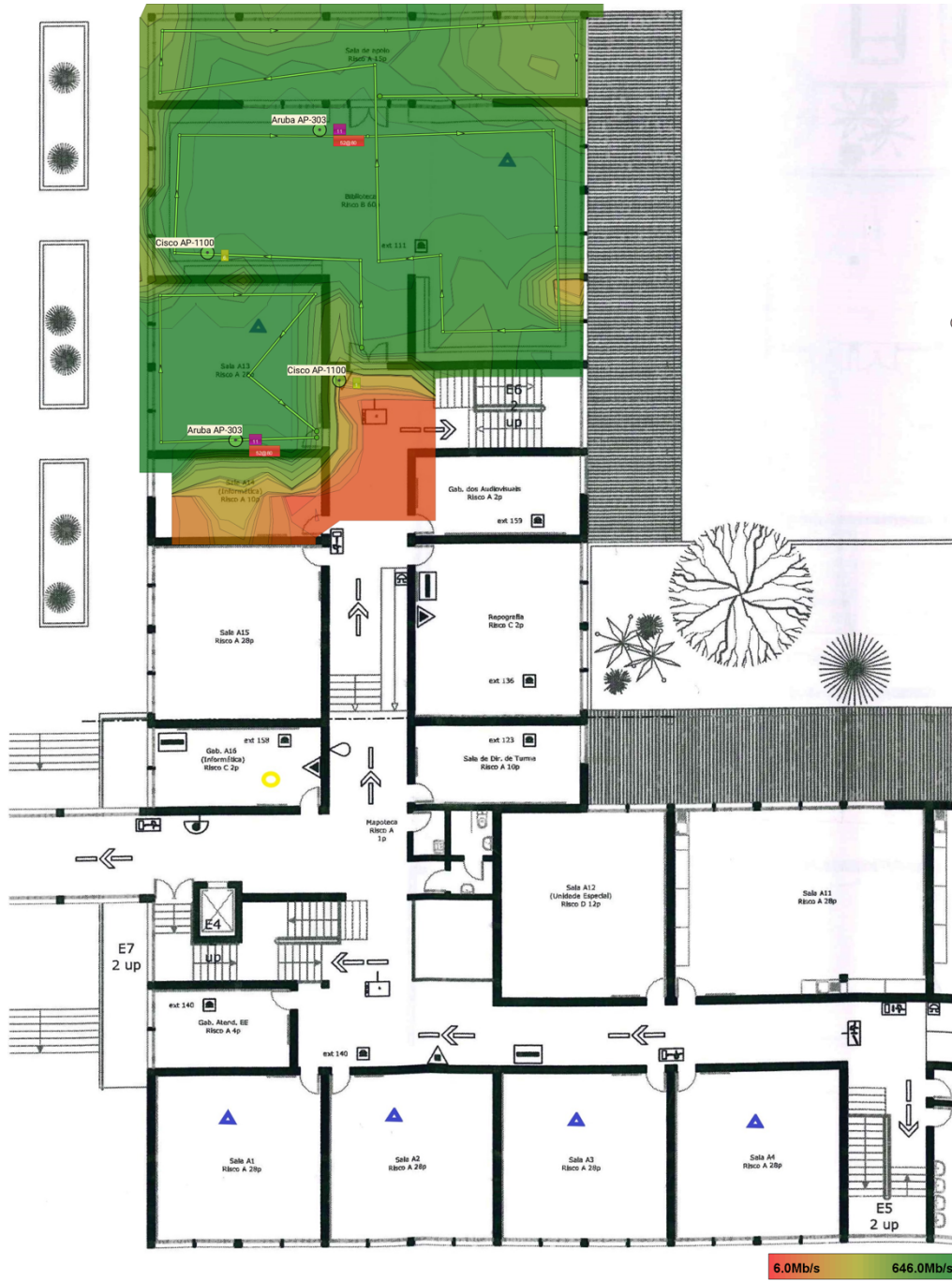


Figura 122 - Heatmap relativo ao Throughput no piso 1 Bloco A

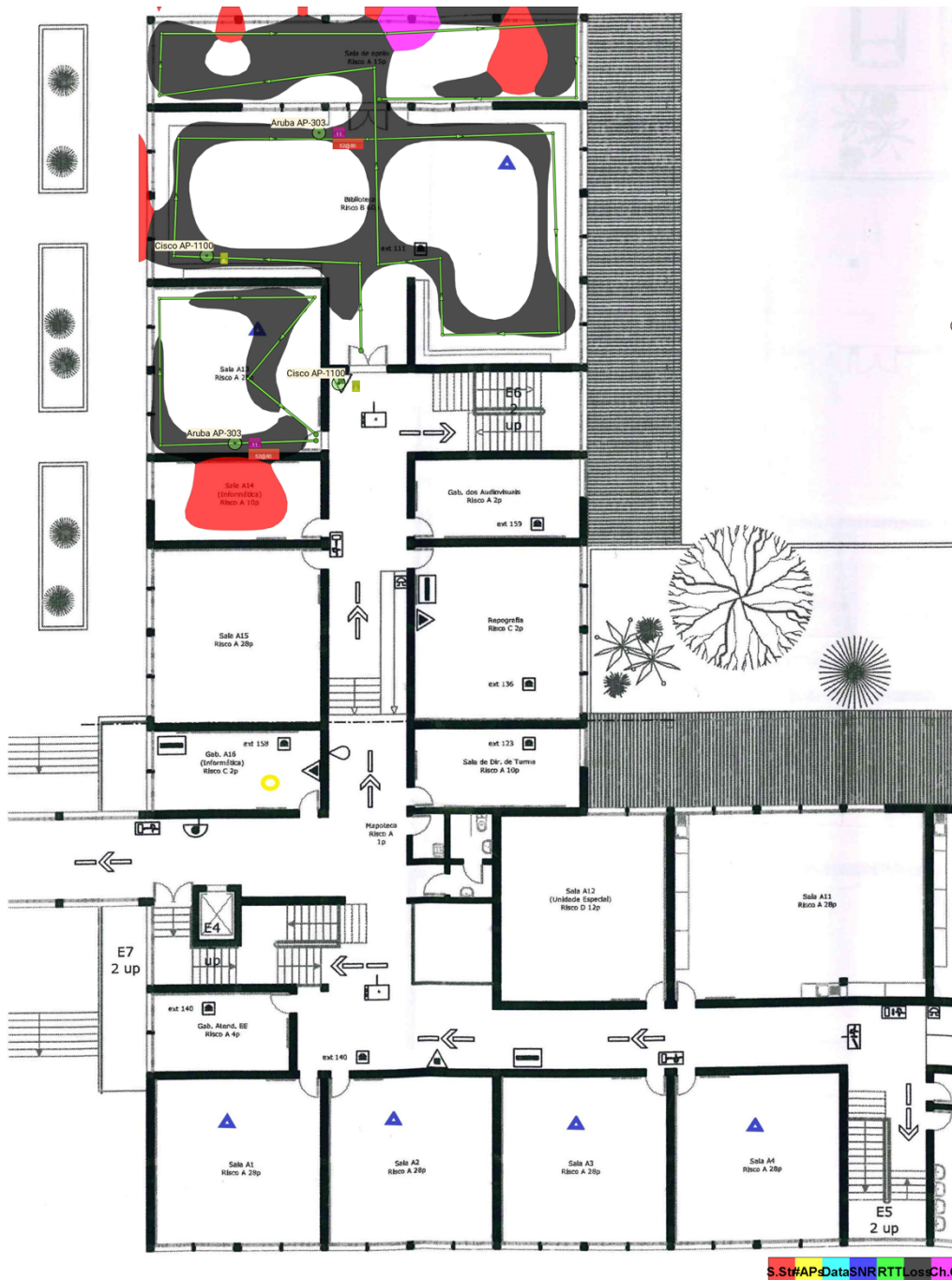


Figura 124 - Heatmap relativo ao Network Issues no piso 1 Bloco A

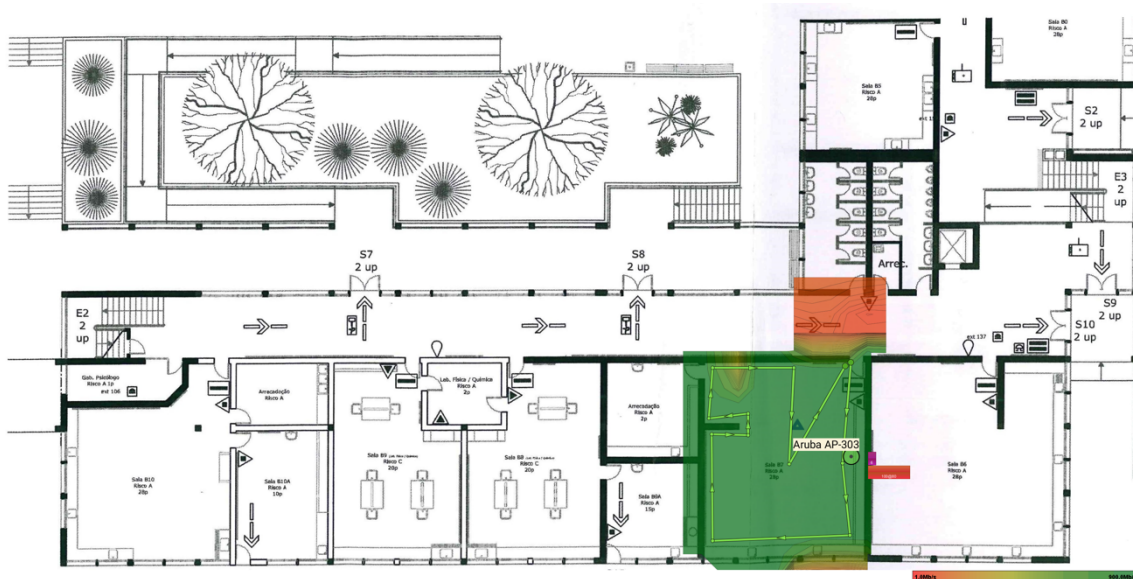


Figura 127 - Heatmap relativo ao Data Rate no piso 2 Bloco B

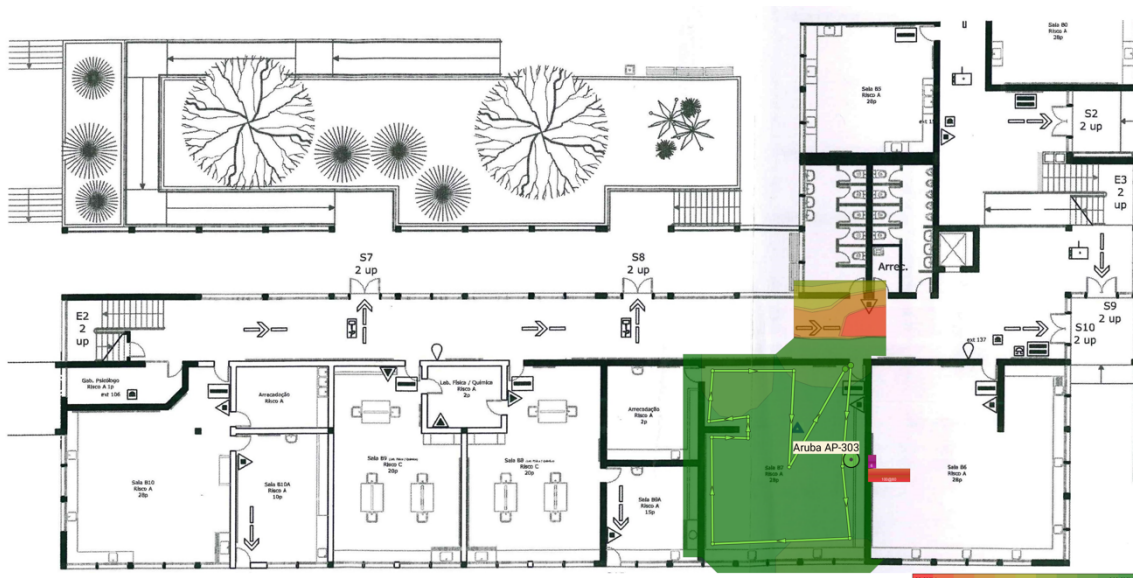


Figura 128 - Heatmap relativo ao Throughput no piso 2 Bloco B

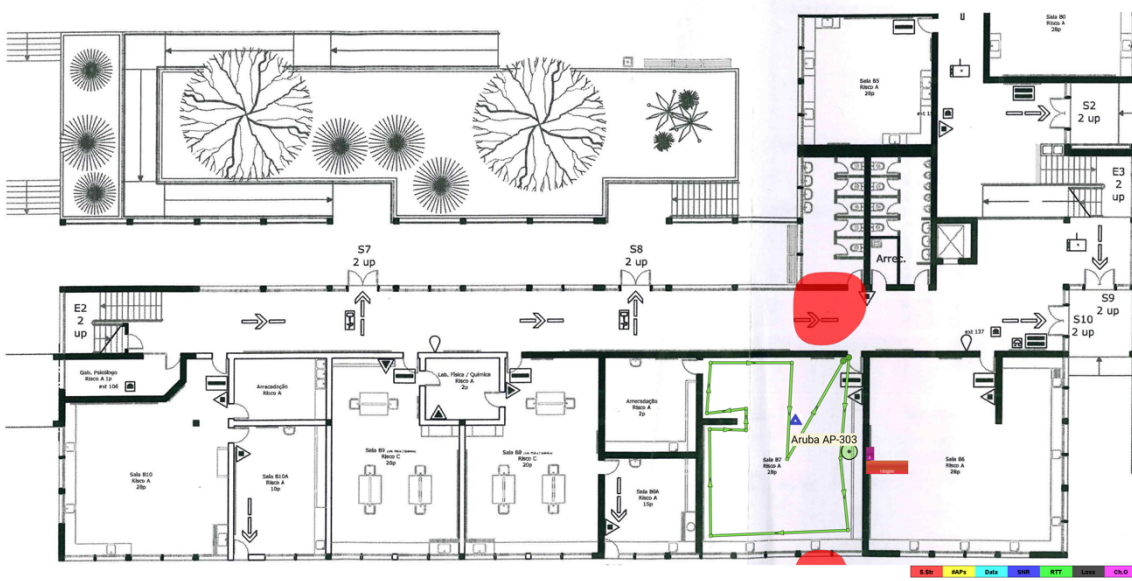


Figura 129 - Heatmap relativo ao Network Issues no piso 2 Bloco B

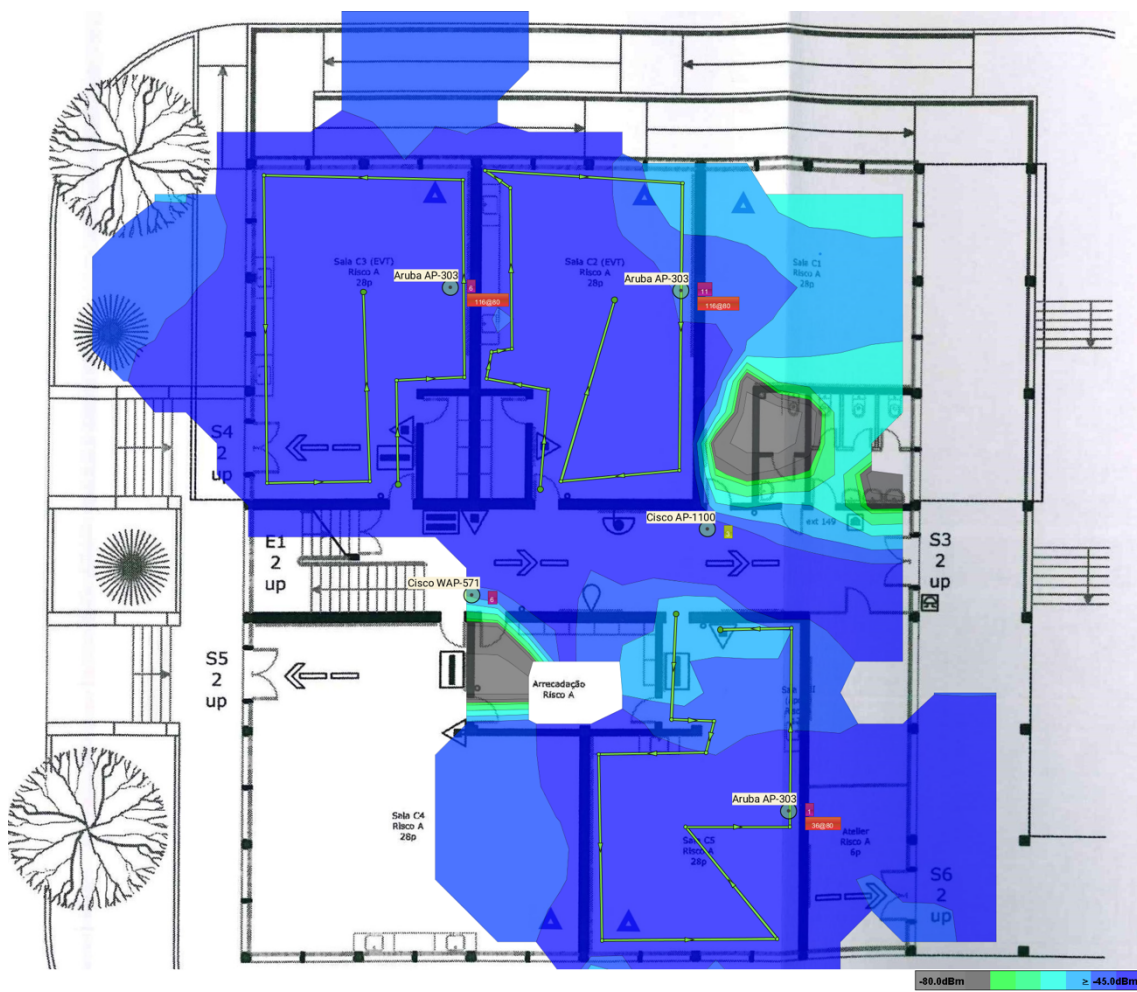


Figura 130 - Heatmap relativo ao RSSI no piso 0 do bloco C

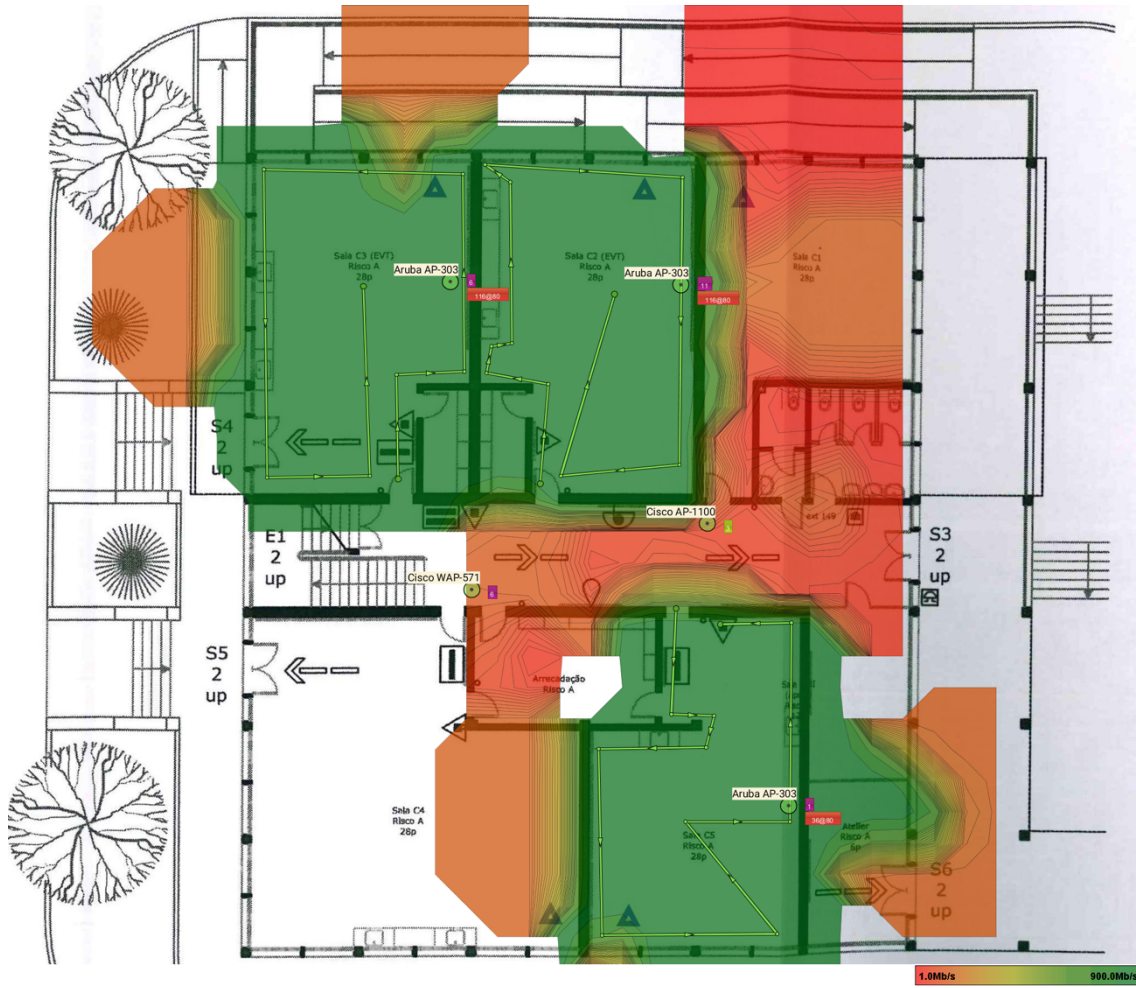


Figura 131 - Heatmap do Data Rate no piso 0 do Bloco C

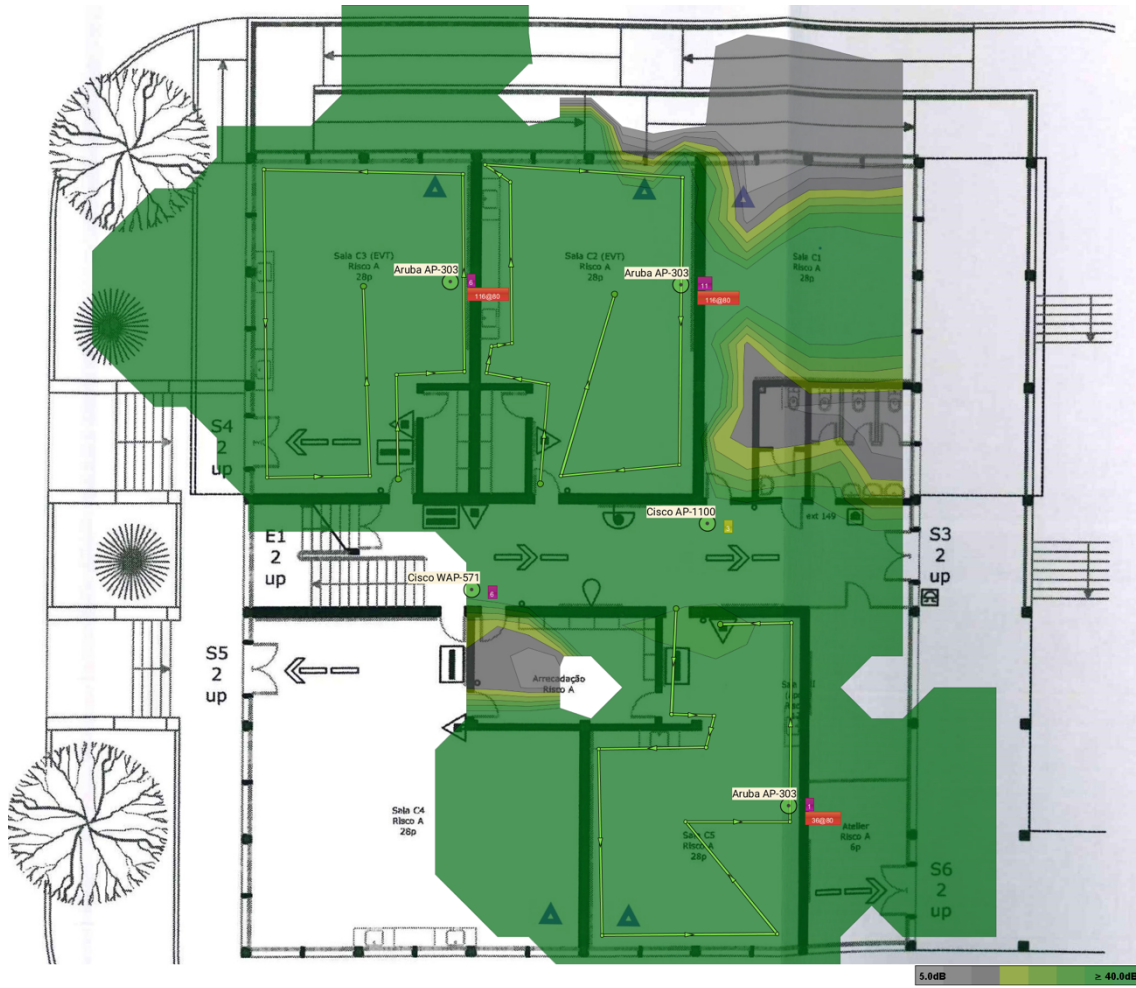


Figura 133 - Heatmap do SNR no piso 0 do Bloco C

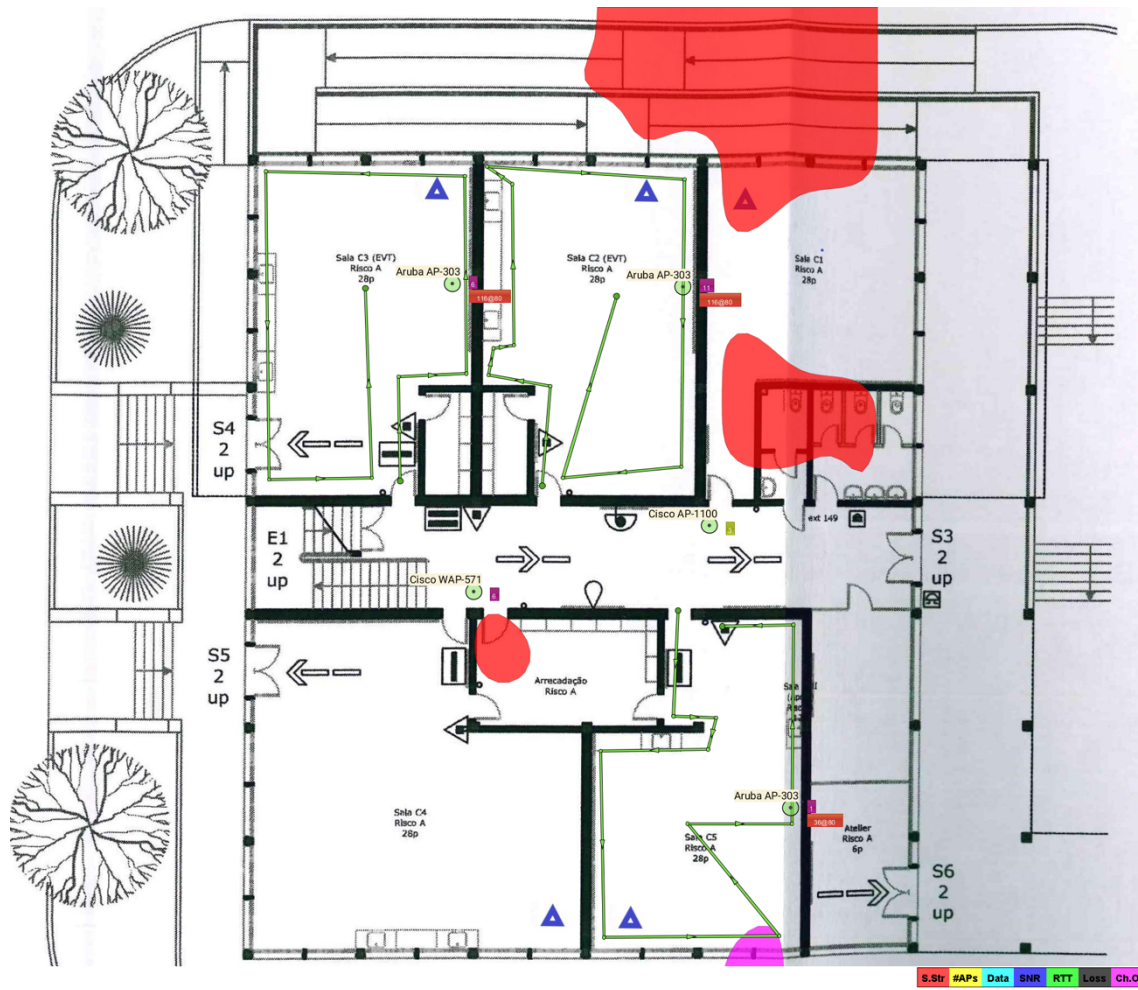


Figura 134 - Heatmap do Network Issues no piso 0 do Bloco C

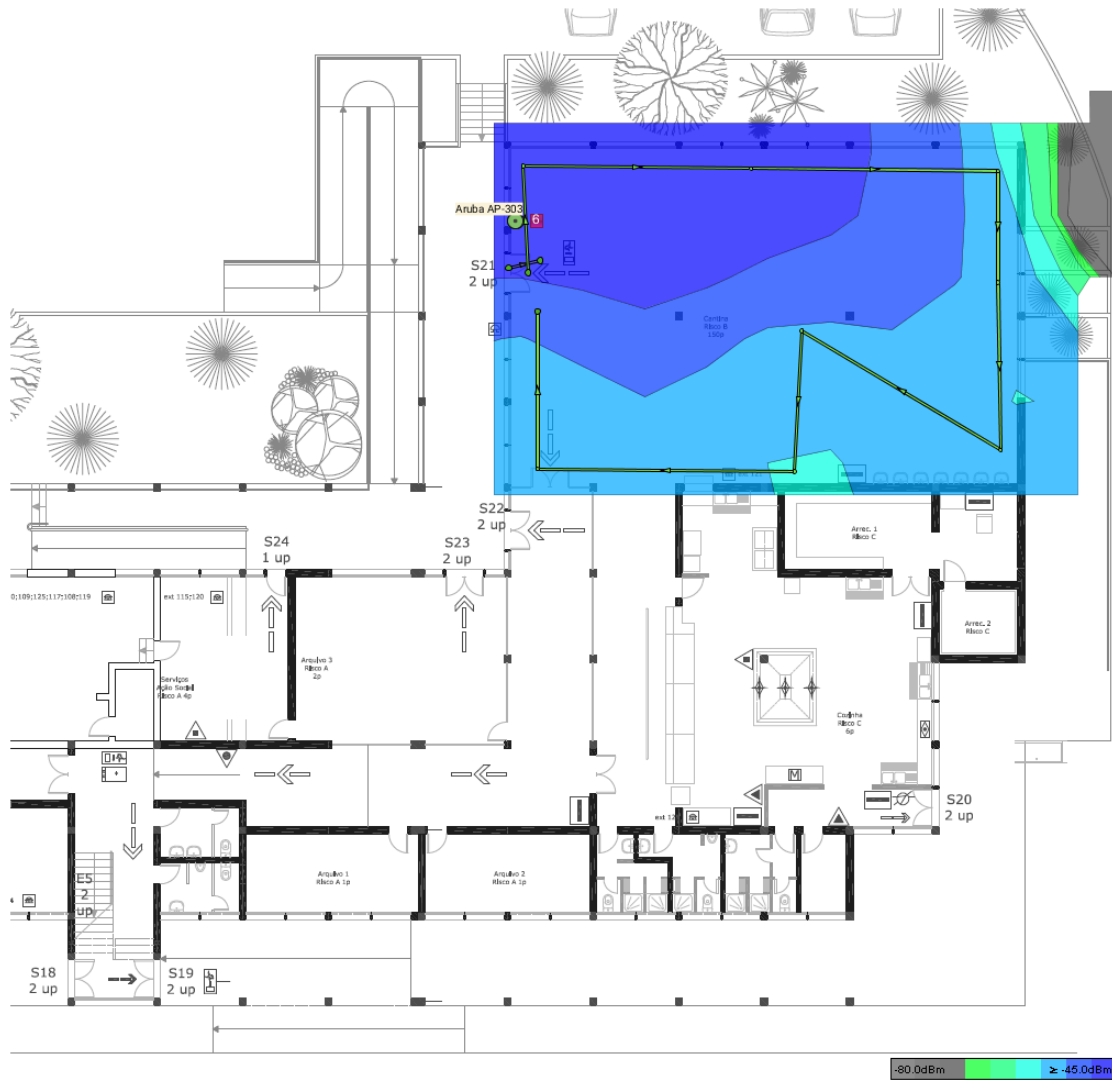


Figura 135 - Heatmap do RSSI na cantina

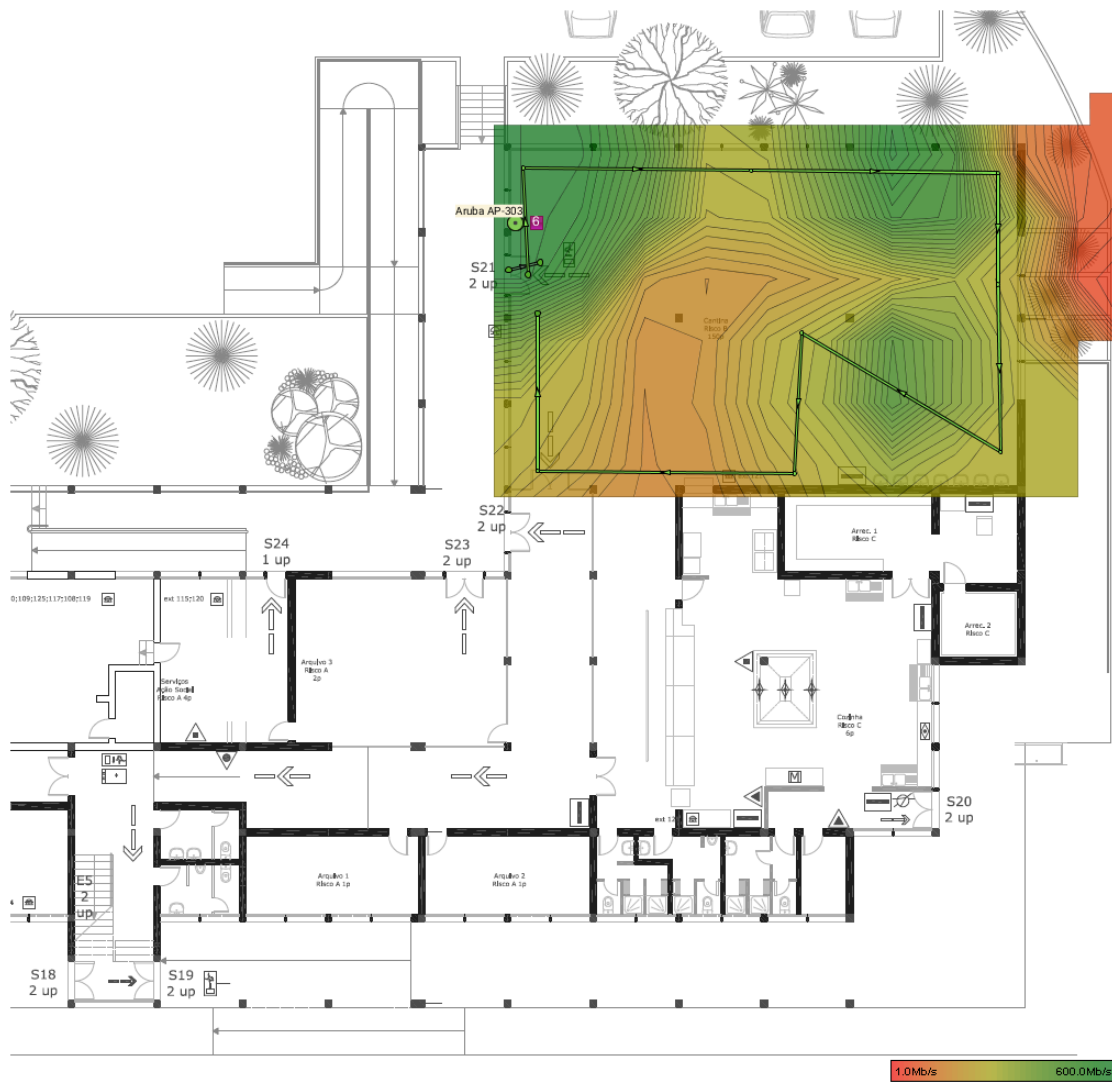


Figura 136 - Heatmap do Data Rate na cantina



Figura 137 - Heatmap do Throughput na cantina

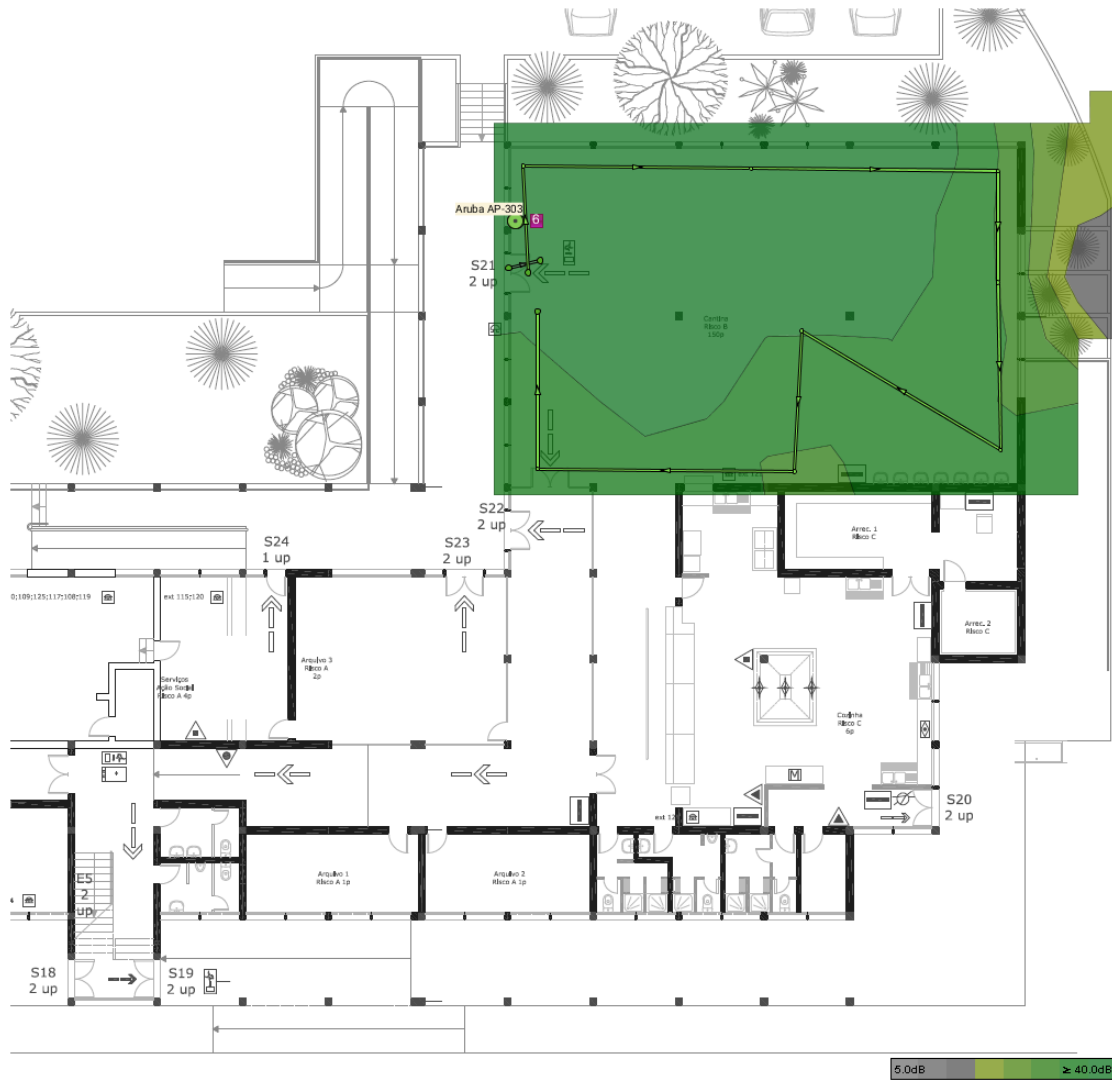


Figura 138 - Heatmap do SNR na cantina

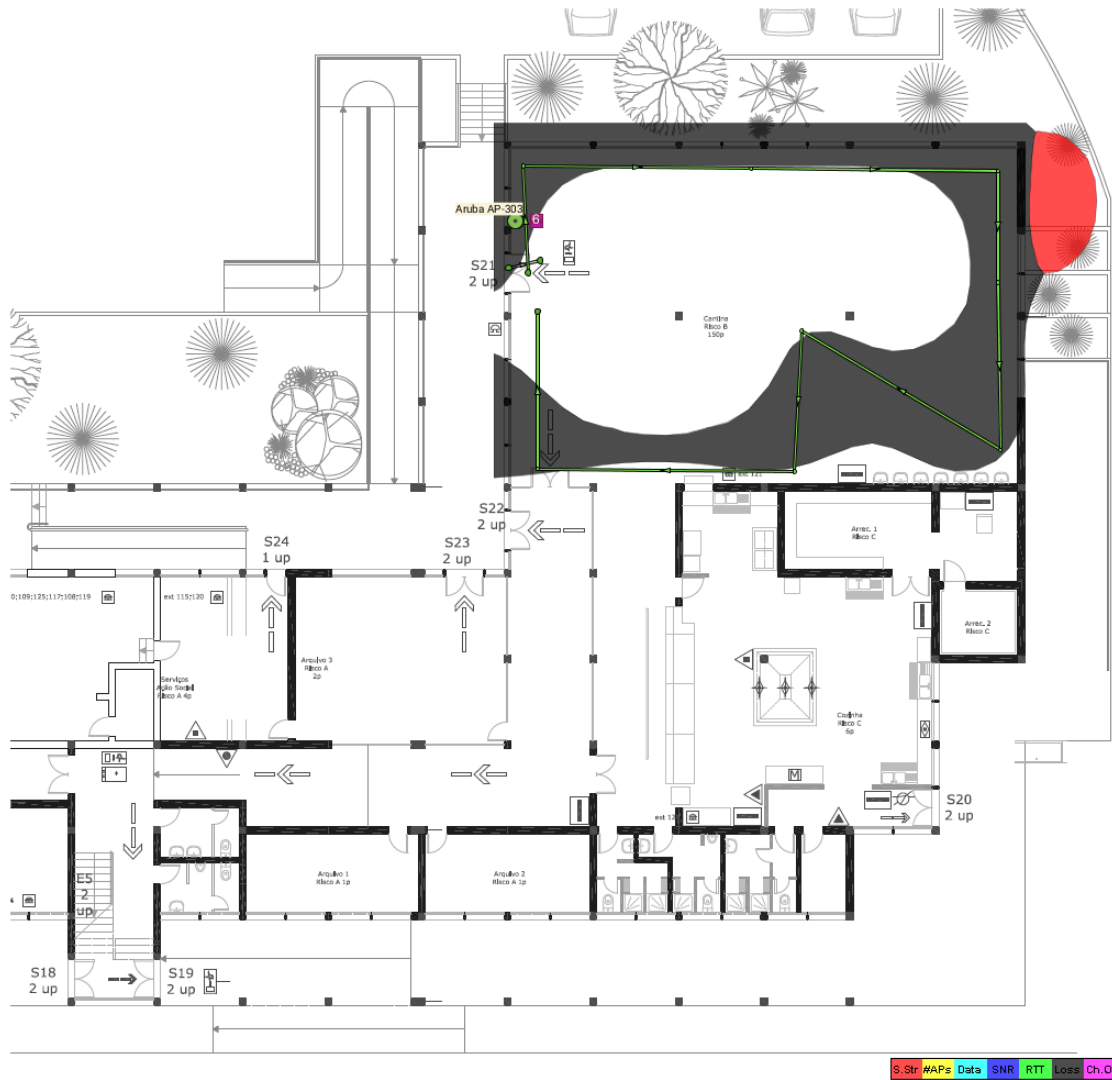


Figura 139 - Heatmap do Network Issues na cantina

Anexo G – Cablagem e layout dos APs no ambiente

Neste anexo são apresentados os traçados da cablagem e o *layout* dos APs no ambiente. A verde estão representados os APs que foram instalados no ano letivo 2019/20, a laranja aos APs a instalar no ano letivo 2020/21.

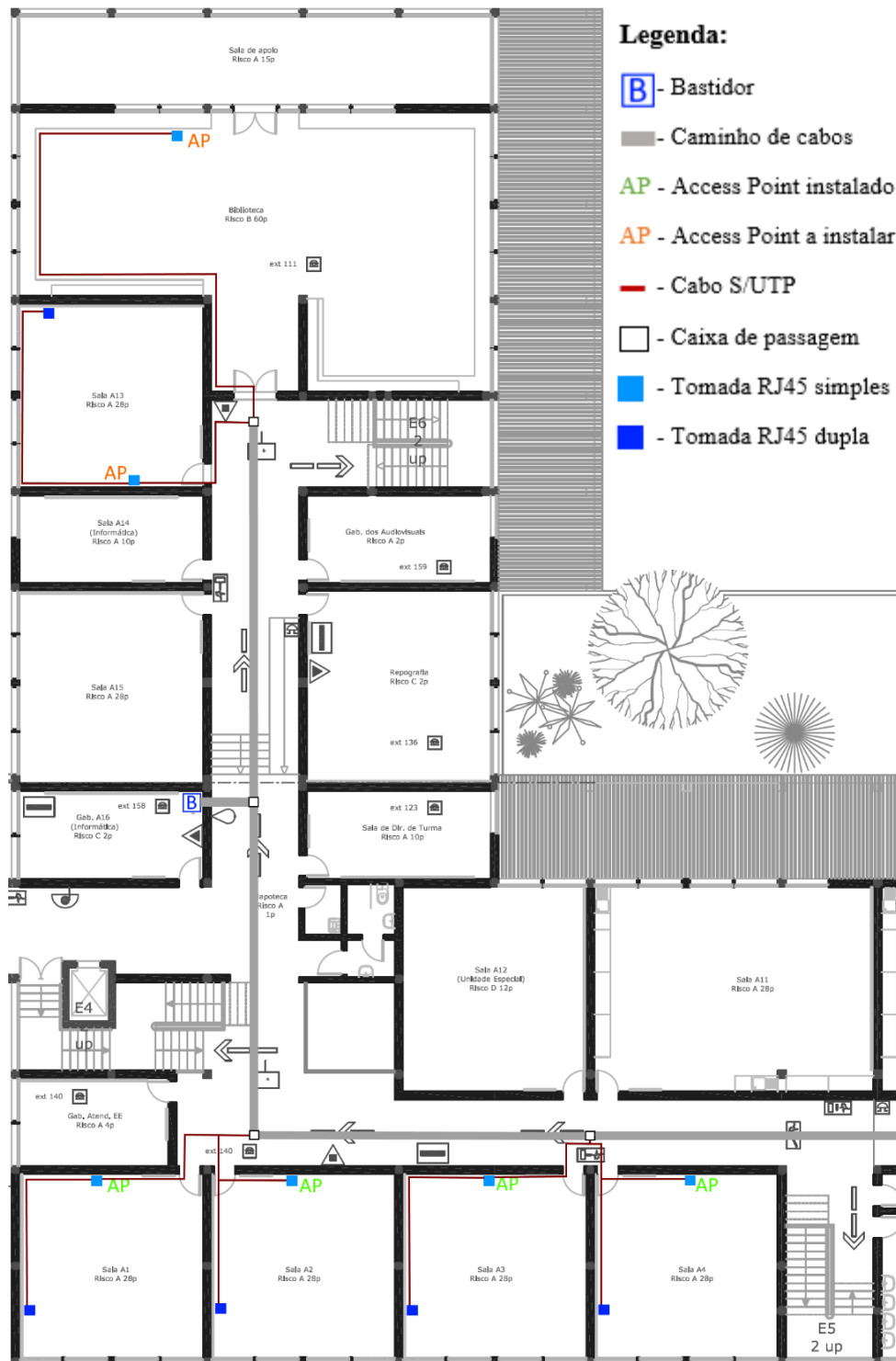


Figura 140 – Traçados da cablagem e localização dos APs no piso 1 bloco A1



Figura 141 - Traçados da cablagem e localização dos APs no bloco A2

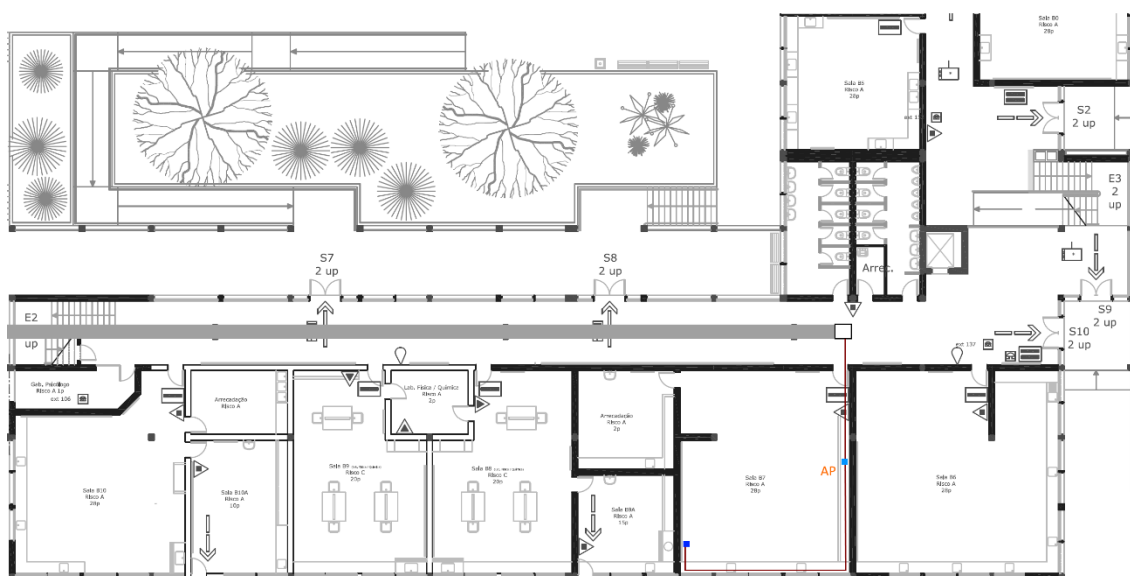


Figura 142 - Traçados da cablagem e localização dos APs no bloco B piso 0

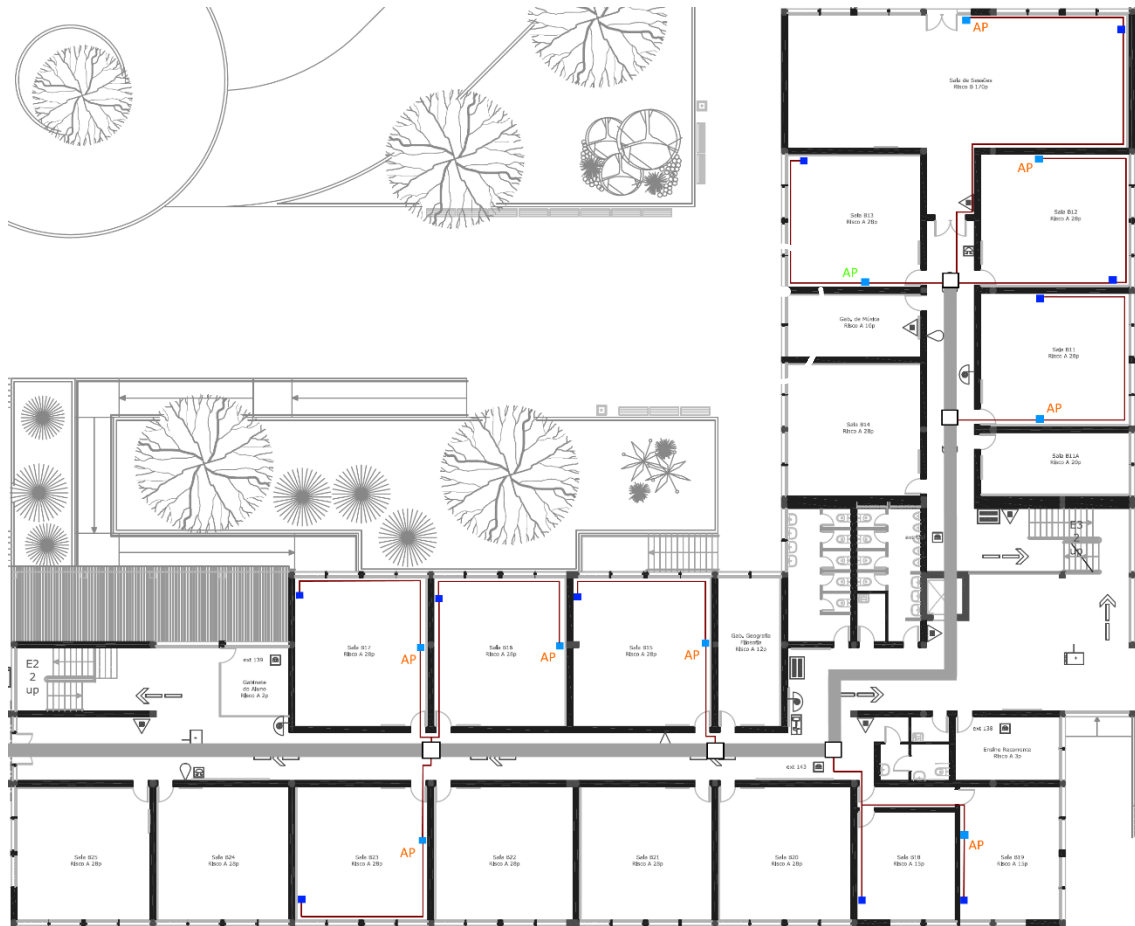


Figura 143 - Traçados da cablagem e localização dos APs no bloco B piso 1

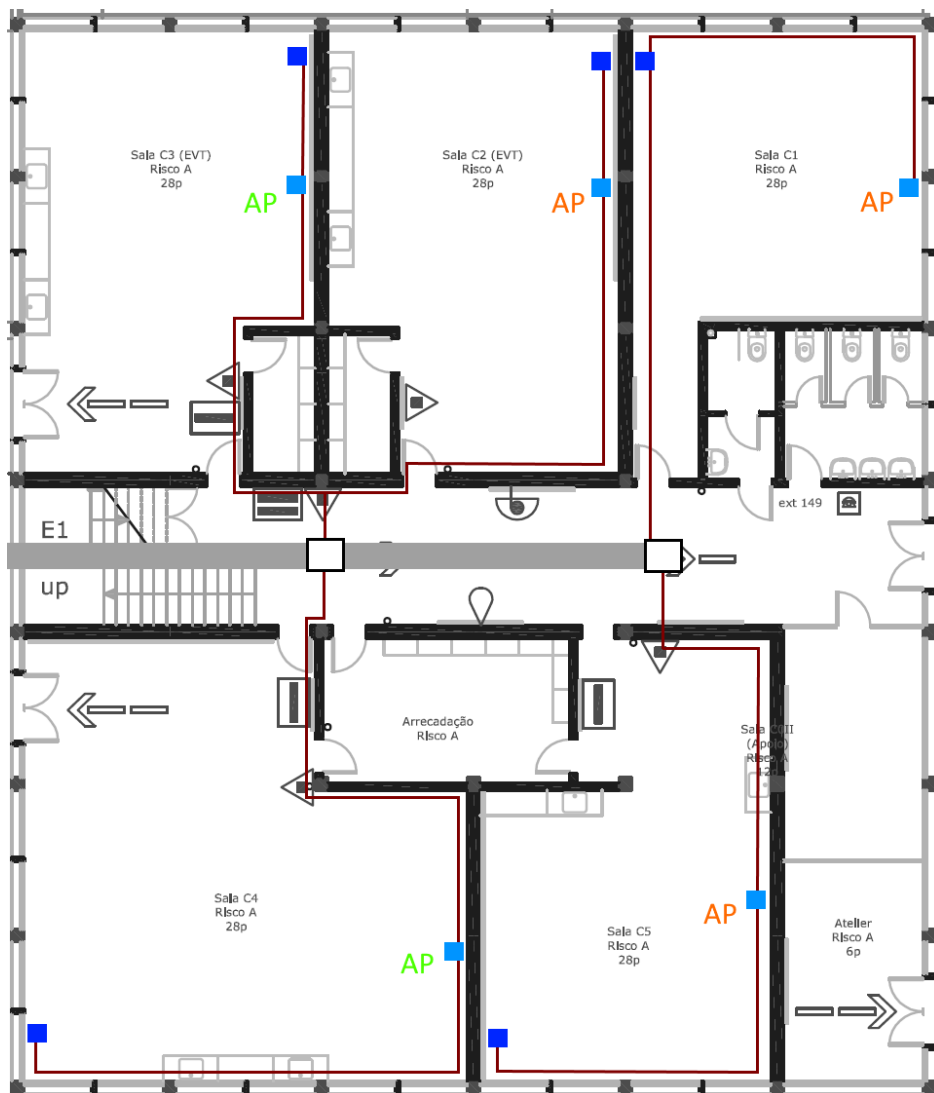


Figura 144 - Traçados da cablagem e localização dos APs no bloco C piso 0

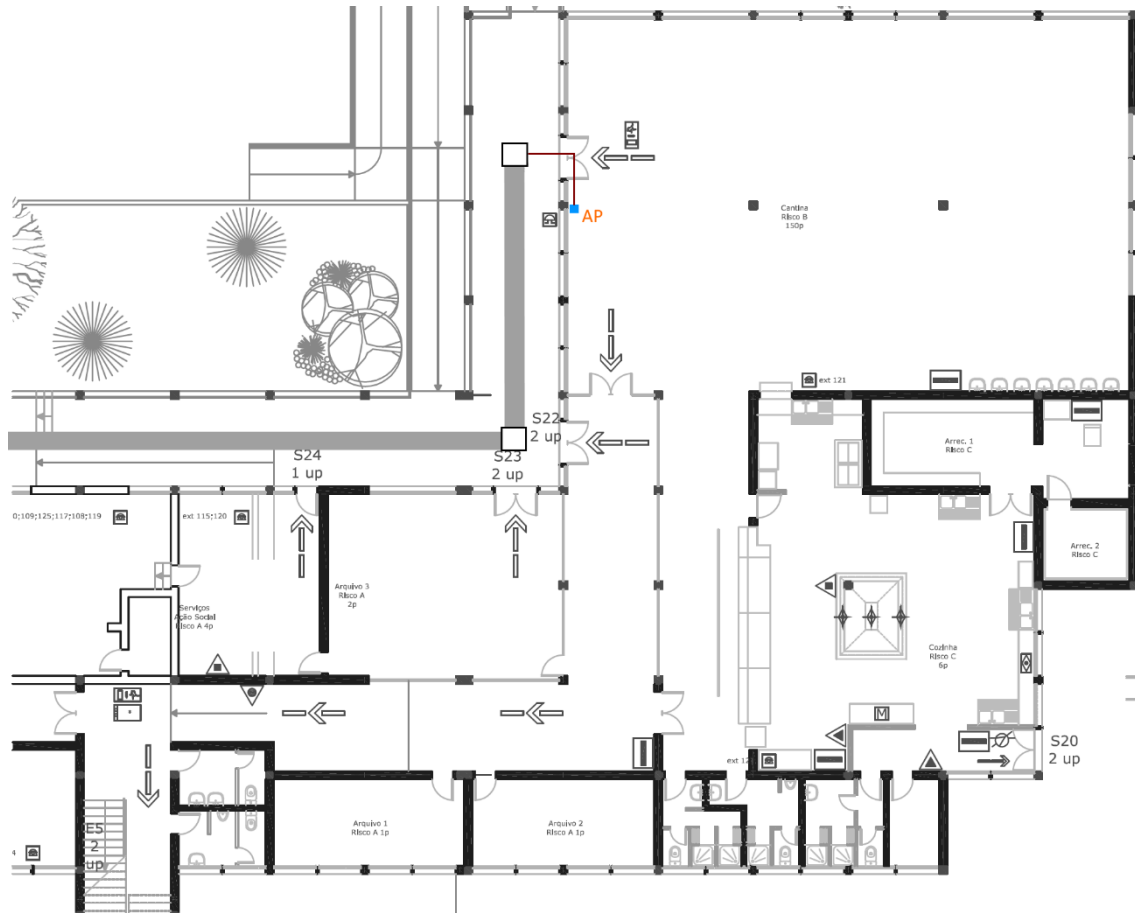


Figura 145 - Traçados da cablagem e localização do AP na cantina

Anexo H - Orçamento

Este anexo mostra o orçamento do equipamento ativo, passivo e serviços para as redes do Projeto dos Manuais Digitais no ano letivo 2020/21.

Tabela 23 - Orçamento do equipamento ativo/passivo e serviços

Equipamento/Serviço AP's e Switchs	PVP Unitário	Qtd	Total
OAW-IAP303-RW - AP Alcatel	275,00 €	233	64 075,00 €
SG350-10MP-K9-EU	200,00 €	7	1 400,00 €
SG350-28MP-K9-EU	375,00 €	16	6 000,00 €
SG350-52MP-K9-EU	643,00 €	3	1 929,00 €
AIR-PWRINJ6= - Power Injector	34,38 €	6	206,28 €
GLC-SX-MMD-TX (SFP fibra multimodo 200m para EBSM)	32,50 €	2	65,00 €
Instalação SFP (EBSM)	85,00 €	1	85,00 €
Fornecimento e instalação fibra multimodo 3 pares incluindo fusões em caixa de fusão existente (EBSM)	394,12 €	1	394,12 €
Instalação 103PR-SIMPLES+CT (pontos de rede)	-	103	13 571,00 €
Serviço Instalação AP	18,00 €	233	4 194,00 €
Serviço Instalação <i>Switch</i>	85,00 €	26	2 252,00 €
Deslocação	37,00 €	25	925,00 €
Total			95 096,40 €

Anexo I – Templates

Este anexo apresenta os *templates* que auxiliam a elaboração dos documentos que são esperados no final de cada fase do processo de planeamento e implementação para as redes do Projeto dos Manuais Digitais.

Anexo I.1 - Documento Problema e Requisitos

Documento Problema e Requisitos

[Nome da escola]

[Morada]

[Data]

Técnico de informática: [Nome] - [Contato]

Coordenador do Projeto dos Manuais Digitais: [Nome] - [Contato]

Professor de TIC: [Nome] - [Contato]

Escola - [Contato da escola]

Infraestrutura física

[Caraterizar o edifício a nível de espaços e materiais de construção]

Utilizadores e aplicações

[Descrever o número e tipo de utilizadores, previsão de evolução, número máximo de acessos simultâneos]

Tabela x - Descrição do número de alunos e de turmas por ano letivo

Ano ensino	Número de alunos	Número de docentes	Número de turmas
5º	x	x	x
6º	x	x	x
7º	x	x	x
8º	x	x	x
9º	x	x	x
10º	x	x	x
11º	x	x	x
12º	x	x	x

[Descrever os equipamentos utilizados na rede]

Tabela x - Descrição dos dispositivos na rede

Tipo de dispositivo	Sistema operativo	Padrões IEEE 802.11 suportados
x	x	x

[Descrever as aplicações e largura de banda típica necessária]

Tabela X - Descrição das aplicações

Tipo de aplicação	Largura de banda
X	X

Infraestruturas de rede

Rede Wi-Fi

[Indicar os modelos de *Access Points* na WLAN atual, norma e *layout* utilizado]

Rede cablada

[Caraterizar o equipamento ativo e equipamento passivo presente na rede e a sua organização física e lógica – inserir diagrama da rede]

Diagrama de rede

[desenhar diagrama de rede]

Rede de acesso à internet

[Caraterizar o tipo de ligação, nível de assimetria e débito contratado]

Condicionantes

Temporais [condicionantes a nível de prazos para implementação da rede]

Operacionais [condicionantes na execução dos trabalhos de implementação]

Problema e requisitos

Problemas

[Identificação dos principais problemas nos componentes analisados e as principais reclamações dos utilizadores]

Definição dos requisitos

Requisitos de cobertura

[Espaços que a infraestrutura deve abranger]

Requisitos de capacidade

[Número de acessos simultâneos, necessidades de largura de banda das aplicações]

Necessidades de gestão, manutenção, segurança e desempenho

[Identificar necessidades de gestão, manutenção, segurança e desempenho na rede]

Anexos

- Plantas da arquitetura do edifício
- Manuais técnicos da rede
- Contratos de telecomunicações (serviços de acesso à internet)

Anexo I.2 – Relatório Validação da Rede

Relatório Validação da Rede



[Nome da escola]

[Morada]

Técnico de informática: [Nome] - [Contato]

Coordenador do Projeto dos Manuais Digitais: [Nome] - [Contato]

Professor de TIC: [Nome] - [Contato]

Escola - [Contato da escola]

Validação da rede Wi-Fi

Received Signal Strength Indication

[Análise ao parâmetro RSSI]

Signal Noise Ratio

[Análise ao parâmetro SNR]

Data Rate

[Análise ao parâmetro Data Rate]

Throughput

[Análise ao parâmetro *Throughput*]

Network Issues

[Análise ao parâmetro *Network Issues*]

Validação da rede cablada

Tabela x – Medições parâmetros de rede

Data	Hora	Download (Mbps)	Upload (MBps)	Latência	Equipamento	Local	Utilizadores
x	x	x	x	x	x	x	x

Anexos

- Plantas com o *layout* dos APs e norma utilizada
- *Heatmap* RSSI
- *Heatmap* SNR
- *Heatmap* Data Rate
- *Heatmap* Throughput
- *Heatmap* Network issues
- Relatórios de tráfego
- Tabelas com medições

Anexo I.3 - Documento Projeto

Documento Projeto 

[Nome da escola]

[Morada]

Técnico de informática: [Nome] - [Contato]

Coordenador do Projeto dos Manuais Digitais: [Nome] - [Contato]

Professor de TIC: [Nome] - [Contato]

Escola - [Contato da escola]

Descrição do ambiente de projeto

[Breve resumo do problema em que se insere o projeto]

Objetivos do projeto**Definição dos requisitos****Requisitos de cobertura**

[Caraterização dos espaços que a infraestrutura deve abranger]

[inserir planta e identificar espaços]

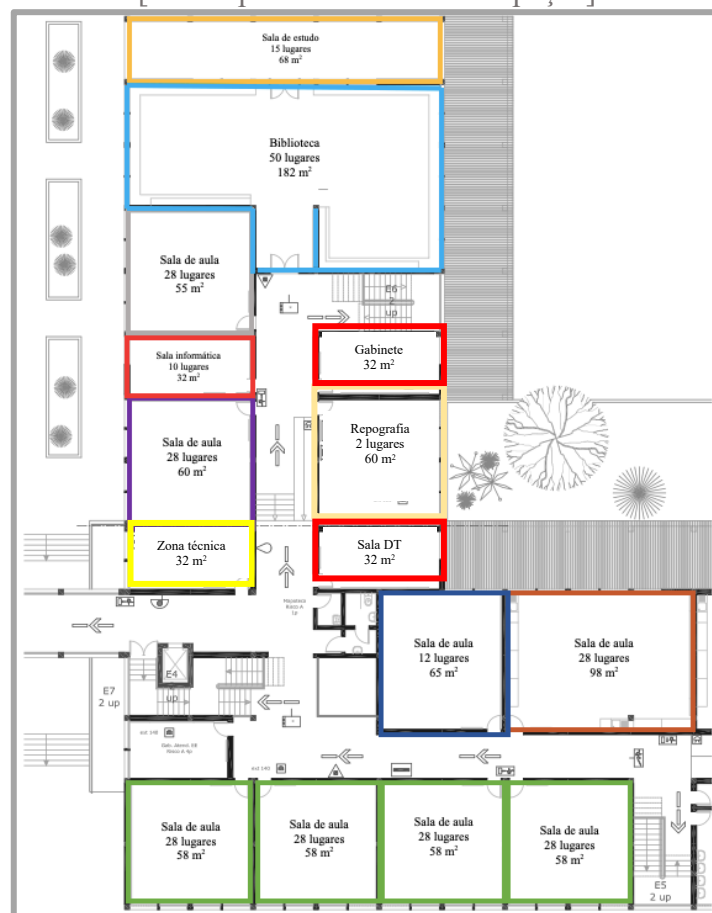


Figura x – Descrição e disposição dos espaços no piso x

Requisitos de capacidade

[Número de acessos simultâneos, necessidades de largura de banda das aplicações, necessidade de débito da ligação agregada]

Tabela x - Definição das áreas no piso x

Nome da área	Dispositivos	Atividade
Sala de aula	27 tablets 1 laptop 1 quadro interativo	High SLA (4Mbps)
	28 smartphones	Background Sincronization (5Kbps)

Necessidades de gestão, manutenção, segurança e desempenho

[caraterizar as necessidades de gestão, manutenção, segurança e desempenho da rede]

Perspetiva de evolução

[identificar perspetivas de evolução da rede]

Tabela x - Descrição do número de alunos e de turmas por ano letivo

Ano ensino	Número de alunos	Número de docentes	Número de turmas
5º	x	x	x
6º	x	x	x
7º	x	x	x
8º	x	x	x
9º	x	x	x
10º	x	x	x
11º	x	x	x
12º	x	x	x

Identificação das condicionantes

Temporais [condicionantes a nível de prazos para implementação da rede]

Operacionais [condicionantes na execução dos trabalhos de implementação]

Especificações

Equipamento passivo

[especificar cabos de cobre, fibras, tomadas, chicotes, distribuidores, componentes dos distribuidores]

Equipamentos ativo

[especificar routers, *switches* e outro equipamento ativo de comunicações sem referir uma marca/fabricante específico]

Planos de gestão, manutenção, segurança e desempenho

[especificar o que a rede necessita em termos de gestão, manutenção, segurança e desempenho a curto/médio prazo]

Desenho da solução

Tabelas com medições e especificações

[Tabelas com as medições e especificações das quantidades dos vários componentes a instalar]

Diagrama da rede

[Desenhar diagrama final da rede com as alterações definidas]

Definição do *layout* dos APs no ambiente

[Plantas do arquitetónicas do edifício com a definição do *layout* dos novos APs no ambiente, traçados em planta da cablagem e identificação do equipamento ativo]

Anexo I.4 - Documento Plano de Implementação

Documento Plano de Implementação



[Nome da escola]

[Morada]

Técnico de informática: [Nome] - [Contato]

Coordenador do Projeto dos Manuais Digitais: [Nome] - [Contato]

Professor de TIC: [Nome] - [Contato]

Escola - [Contato da escola]

Orçamento

Tabela x – Orçamento dos componentes a implementar

Componente	Quantidade	Valor
x	x	x
Total		x

[Descrição adicional sobre os componentes a implementar]

Plano de implementação e cronograma de trabalhos

Tabela x – Plano e cronograma dos trabalhos a realizar

Descrição da tarefa	Equipa	Data
x	x	x

[Descrição detalhada das tarefas a realizar]

Anexo I.5 - Relatório Estado de Implementação

Relatório Estado da Implementação

[Nome da escola]

[Morada]

Técnico de informática: [Nome] - [Contato]

Coordenador do Projeto dos Manuais Digitais: [Nome] - [Contato]

Professor de TIC: [Nome] - [Contato]

Escola - [Contato da escola]

Ponto de situação da implementação na escola

[Descrever o estado da implementação dos vários componentes a instalar]

Tabela x – Plano e cronograma dos trabalhos a realizar

Tarefa	Dia	Ponto de situação
x	x	x

Dificuldades pontuais

[Relatar limitações/problemas na implementação]

Cronograma de trabalhos atualizado

[Atualizar o cronograma de trabalhos se as tarefas não conseguirem ser feitas no tempo delineado]

Tabela x – Plano e cronograma dos trabalhos atualizado

Descrição da tarefa	Equipa	Data
x	x	x

[Descrição detalhada das tarefas a realizar]

Estado final da implementação

[Descrever se tudo o que estava previsto implementar foi efetivamente implementado. Algum componente não implementado na sua totalidade, deve ser descrito e justificada a limitação do sucedido]

Anexo J – Teste de atenuação

Neste anexo são mostrados os *heatmaps* dos parâmetros RSSI, *Throughput*, SNR e *Network Issues* resultantes do teste realizado com um AP de teste entre as salas A1 e A2 da Escola Básica e Secundária Gonçalves Zarco.

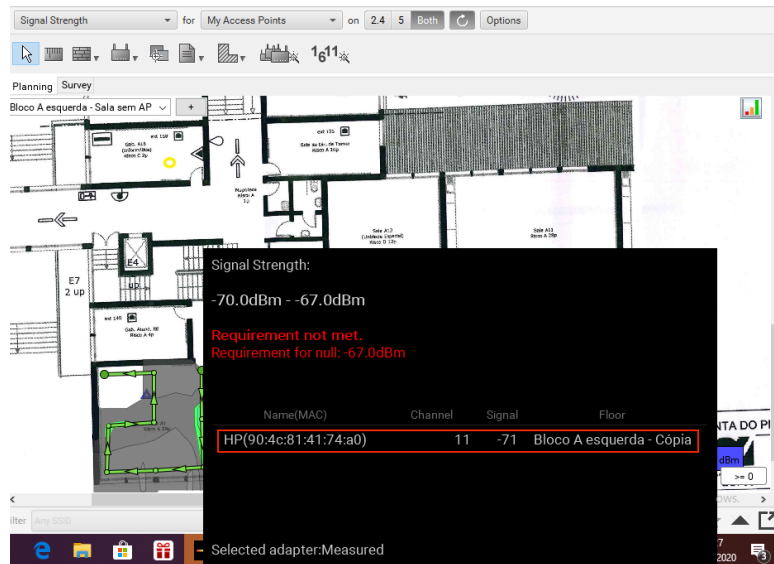


Figura 146 - RSSI recebido na sala A1 (sala sem AP)

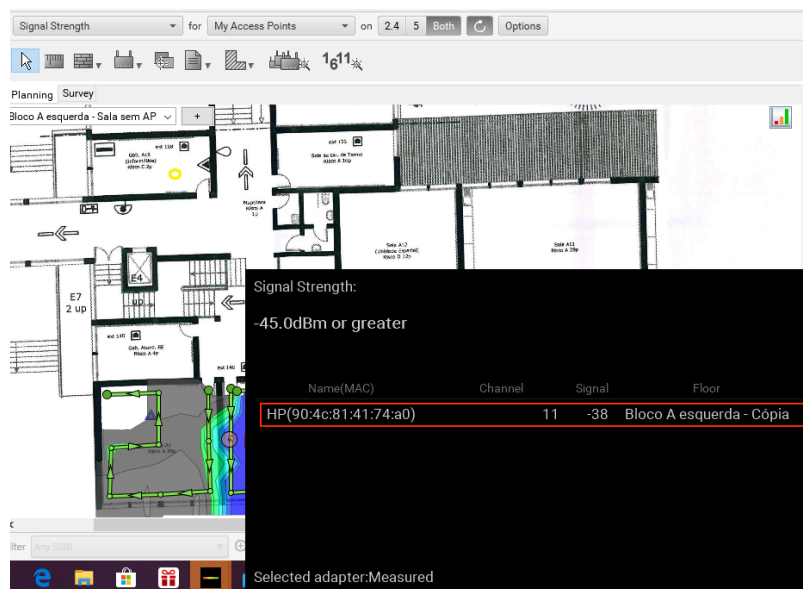


Figura 147 - RSSI recebido na sala A2 com AP (sala com AP)

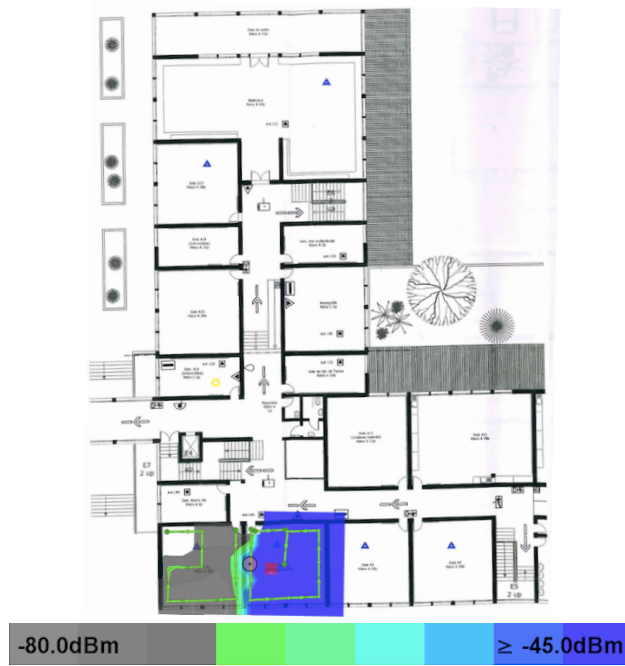


Figura 148 – *Heatmap* do RSSI no cenário de teste da sala A1 sem AP



Figura 149 – *Heatmap* do *Throughput* no cenário de teste da sala A1 sem AP



Figura 150 – Heatmap do SNR no cenário de teste da sala A1 sem AP

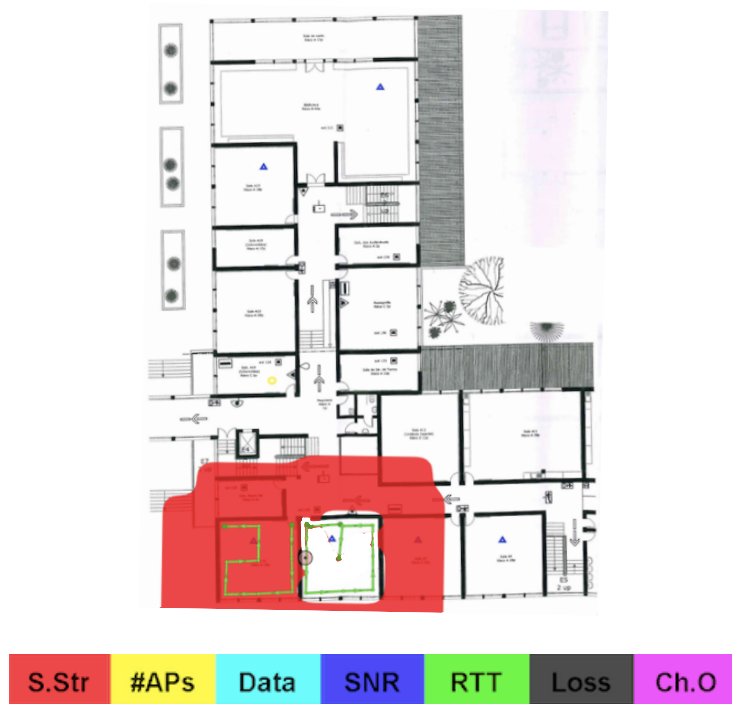


Figura 151 – Heatmap do Network Issues no cenário de teste da sala A1 sem AP

Anexo K – Configurações

Neste anexo são exemplificados os processos de configuração de uma *White List*, *Band Steering* e da potência de transmissão no AP *Aruba 303 da Alcatel*.

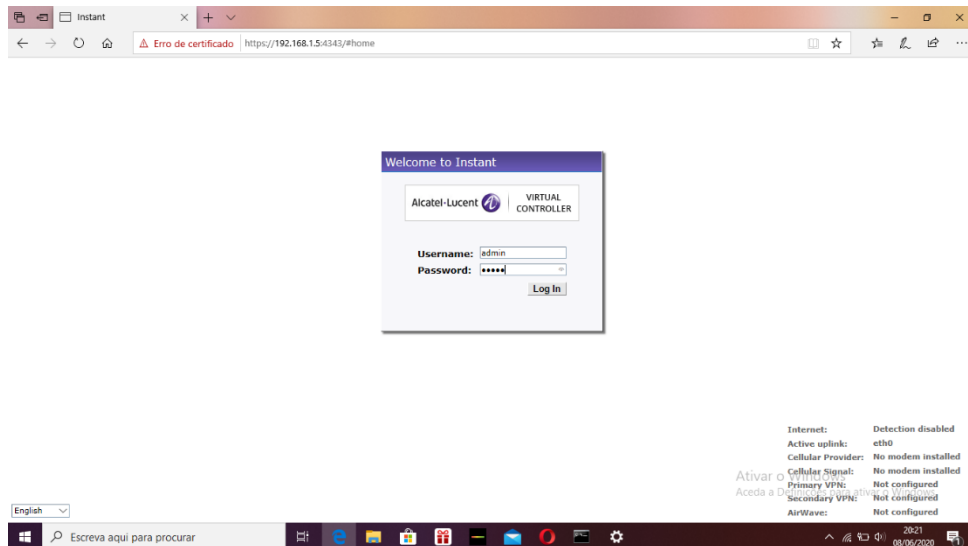


Figura 152 – Acesso à controladora pelo *browser*

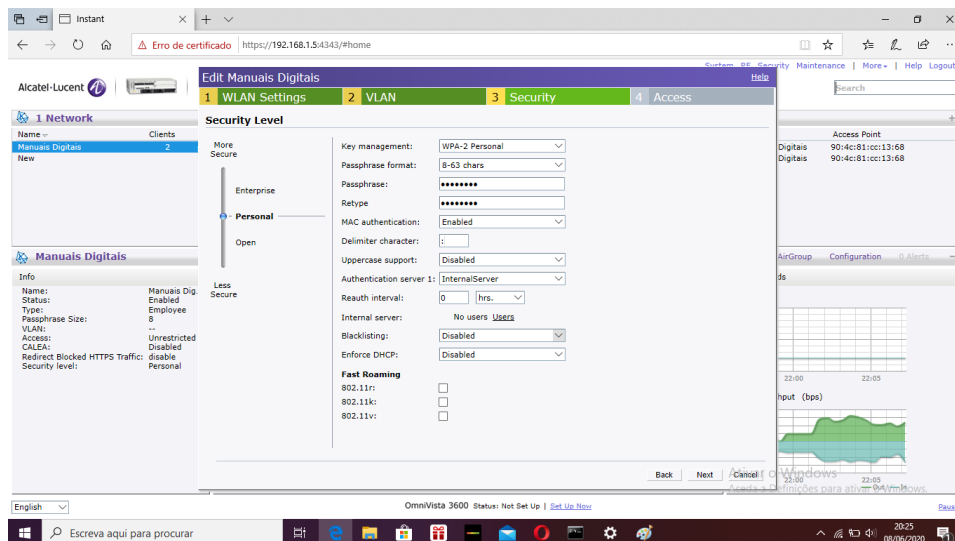


Figura 153 – Definição do *MAC Authentication*

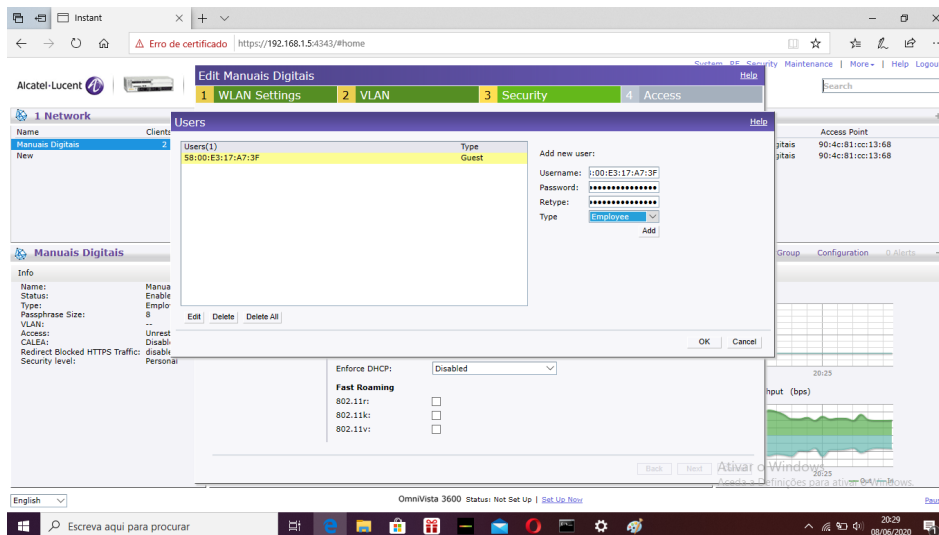


Figura 154 – Especificação dos utilizadores pertencentes à *White List*

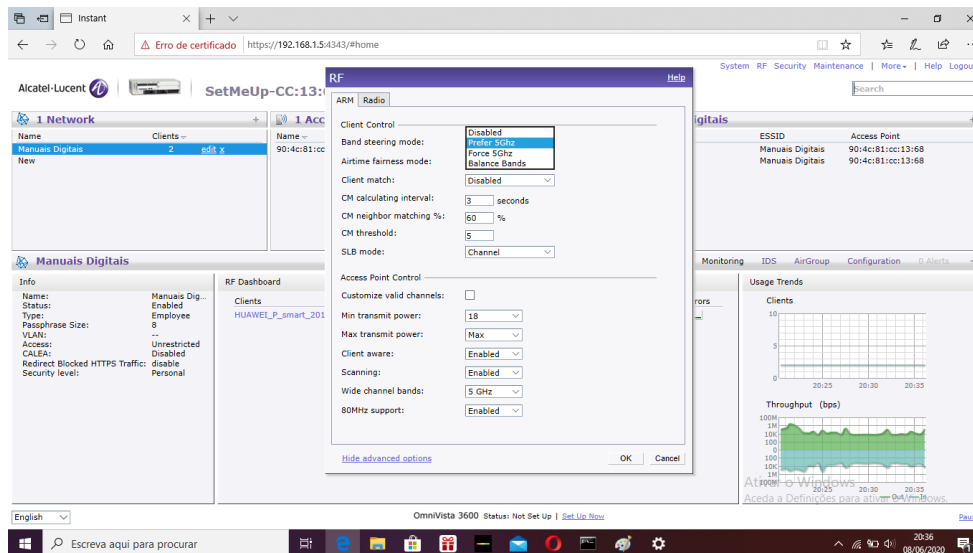


Figura 155 – Diminuição da potência de transmissão e configuração do *Band Steering*