



Dissertação

Mestrado em Engenharia Electrotécnica – Telecomunicações

***Planeamento de redes móveis de banda larga –
Caso de estudo do Campus 2 do IPLeiria***

Amílcar da Silva Justino

Leiria, Março de 2014



Dissertação

Mestrado em Engenharia Electrotécnica – Telecomunicações

***Planeamento de redes móveis de banda larga –
Caso de estudo do Campus 2 do IPLeiria***

Amílcar da Silva Justino

Dissertação de Mestrado realizada sob a orientação do:

Doutor Rafael Caldeirinha, Professor Coordenador do Departamento de Engenharia Eletrotécnica da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria

Doutor Telmo Fernandes, Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Eletrotécnica da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria

Leiria, Março de 2014

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Dedicado à minha família

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Agradecimentos

Concluí uma grande etapa da minha vida, etapa esta, que não teria sido possível sem o apoio de muitos que me querem bem, nomeadamente agradeço à minha esposa por todo o apoio, toda a dedicação e toda a ajuda que me deu durante este meu percurso académico.

Não posso também deixar de agradecer a todas aquelas pessoas que direta ou indiretamente fizeram parte deste meu percurso.

No entanto saliento algumas pessoas, que sem elas não era de todo possível realizar esta dissertação, nomeadamente:

Ao Professor Doutor Rafael Caldeirinha e ao Professor Doutor Telmo Fernandes, que me apoiaram constantemente, que estiveram sempre disponíveis, que me ajudaram nos meus momentos mais difíceis e que foram os principais responsáveis para que eu conseguisse superar a conclusão deste desafio.

Tenho também que agradecer à empresa AWE Communications GmbH que se disponibilizou constantemente, para todos os contactos realizados por mim, no sentido de se contornar as várias dificuldades que me foram surgindo, especialmente ao Dr.-Ing Gerd Woelfle, ao Dr.-Ing Reiner Hoppe e ao Dr.-Ing.Oliver.

Por fim, agradeço também à instituição que me tem acolhido nestes últimos anos, o Instituto Politécnico de Leiria, mais propriamente a ESTG, que de uma forma ou de outra permitiu-me chegar a esta fase da minha vida com sucesso.

A todos um Bem-Haja e muito OBRIGADO.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

A utilização de redes sem fios tem crescido de uma forma vertiginosa, com um aumento constante de dispositivos móveis, de aplicações e de serviços. Para acompanhar este aumento de necessidades, surgem tecnologias, que visam acompanhar a exigência nos mais diversos segmentos, incluindo áreas escolares. Numa implementação de uma determinada tecnologia, ou numa melhoria de uma estrutura de rede sem fios existente, o processo de planeamento não deve ser evitado, sendo fundamental para obter uma infraestrutura com resultados satisfatórios, quer seja em termos de cobertura, de capacidade ou de custos. Para tal, é necessário o envolvimento de um ambiente virtual de simulação, isto é, a elaboração de um cenário gráfico editado que sirva como base de dados representativa e sobre as quais as simulações de propagação e de rede vão incidir.

Nesta dissertação foi criada uma plataforma genérica, i.e. uma base de dados, que simula de uma forma detalhada um *Campus* de ensino superior. Esta plataforma genérica poderá ser utilizada para facilitar futuros planeamentos de estruturas de rede sem fios que tenham que ser implementadas nesta área escolar. Não menos importante, a plataforma criada será fundamental para o ensino das Telecomunicações na Escola Superior de Tecnologia e Gestão (ESTG) do Instituto Politécnico de Leiria, permitindo a realização de projetos de planeamento e otimização de redes sem fios, atuais e futuras, em cenários interiores e/ou exteriores, num contexto realista e com detalhe ao nível das janelas e escadas interiores, e que permitirá a aferição prática *in situ*.

Neste sentido, foi efetuada uma “auditoria” ao planeamento da rede Wi-Fi da ESTG, atualmente em serviço, com verificação *in situ*, através de medições de nível de potência recebido em localizações aleatoriamente definidas, com o objetivo de identificar eventuais problemas de cobertura rádio e/ou desempenho da rede, para a utilização de equipamentos móveis.

Palavras-chave: IEEE 802.11, *Winprop*, *Wallman*, *Proman*, Planeamento

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Abstract

The use of wireless networks has grown very fast, with the increase of mobile devices, applications and services. To follow this increased requirements, new technologies aim the demand in wide segments, including school areas. In an implementation of a given technology or an improvement of an existing wireless network, the planning process should not be avoided, being fundamental to produce good results, either in coverage, either in capacity or in cost. So, it is necessary to involve a virtual simulation environment in the process, that in fact, is an edited modeled scenario that represent a database on which the propagation and network simulations will focus.

In this project, a generic platform is created, that is, a database that simulates all building details of an education Campus. This generic platform can be used, to facilitate future planning of wireless structures that have to be implemented in this school area. Not least, this platform will be instrumental in teaching at ESTG, allowing to perform planning and optimization of projects of wireless networks, in a realistic scenario and detailed to the windows and staircases level context and will allow measurements *in situ*.

So, in this context, an “auditing” of the Wi-Fi network planning currently in service in ESTG has been done, with *in situ* verification, using measurements of received power level obtained in random locations, with the goal of identifying potential radio coverage and/or network performance problems for the use of mobile devices.

Key-Words: IEEE 802.11, *Winprop*, *Wallman*, *Proman*, Planning

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Índice de Figuras

FIGURA 1.1 – IMAGEM EM VISTA 3D DO CENÁRIO EM ESTUDO.....	2
FIGURA 2.1 – ESTIMATIVA DE REQUISITOS DE DÉBITO BINÁRIO (RETIRADO DE [2])	5
FIGURA 2.2 - VELOCIDADES DE TRANSMISSÃO DISPONÍVEIS (RETIRADA DE [2])	6
FIGURA 2.3 - COBERTURA DE REDE COM 3 PONTOS DE ACESSO	8
FIGURA 2.4 - COBERTURA SEM FIOS COM 12 PONTOS DE ACESSO	8
FIGURA 2.5- RELAÇÃO VELOCIDADE DE TRANSMISSÃO E COBERTURA (RETIRADO DE [7])	10
FIGURA 2.6 - INTERFERÊNCIA CO-CANAL: AP'S.....	11
FIGURA 2.7 - CANAIS 2,4 GHZ	11
FIGURA 2.8 - REUTILIZAÇÃO DE CANAIS EM 2.4GHZ	12
FIGURA 2.9 - REUTILIZAÇÃO DE CANAIS EM EDIFÍCIOS COM PISOS.....	12
FIGURA 3.1 – BASE DE DADOS URBANA DA CIDADE DE LEIRIA COM TOPOGRAFIA	16
FIGURA 3.2 – EDIFÍCIO DE 4 PAREDES E 1 TELHADO (5 OBJETOS)	17
FIGURA 3.3 - APROXIMAÇÃO PARA OS OBJETOS ARREDONDADOS.....	17
FIGURA 3.4 - EXEMPLO SUBDIVISÃO (RETIRADO DE [13]).....	18
FIGURA 3.5 - CENÁRIO URBANO COM A IMPORTAÇÃO DE CENÁRIOS INTERIORES	19
FIGURA 3.6 – CATÁLOGO DE MATERIAIS.....	20
FIGURA 3.7 - MODELO EMPÍRICO (ESQ.) E O MODELO DPM (DIR.).....	22
FIGURA 4.1 - CAMPUS 2 IPLEIRIA – ESTG (RETIRADO DE [18])	25
FIGURA 4.2 - EDIFÍCIO B.....	26
FIGURA 4.3 - ALGUMAS CARACTERÍSTICAS DO EDIFÍCIO C.....	27
FIGURA 4.4 - ALGUMAS CARACTERÍSTICAS DO EDIFÍCIO D	28
FIGURA 4.5 - DISTRIBUIÇÃO DOS AP'S NO EDIFÍCIO A PISO 1.....	31
FIGURA 4.6 - DISTRIBUIÇÃO DE AP'S NO EDIFÍCIO B PISO 0	32
FIGURA 4.7 - DISTRIBUIÇÃO DE AP'S NO EDIFÍCIO C PISO 1	32
FIGURA 4.8 - DISTRIBUIÇÃO DE AP'S NO EDIFÍCIO D PISO -1	33
FIGURA 4.9 - CISCO AIRONET 1100	33
FIGURA 4.10 - CISCO AIRONET 1240AG.....	34
FIGURA 5.1 - REMOÇÃO DO PREENCHIMENTO DAS PAREDES NO AUTOCAD	37
FIGURA 5.2 - ALTERAÇÃO DAS ESPESSURAS DAS PAREDES PARA APENAS UMA LINHA ÚNICA	37
FIGURA 5.3 - REPRESENTAÇÃO DE PORTAS E JANELAS NO AUTOCAD	38
FIGURA 5.4 – PAREDE (LINHA AZUL) E A PORTA (LINHA VERDE)	38
FIGURA 5.5 - PAREDE EXTERIOR COM CAIXA-DE-AR	39
FIGURA 5.6 - FICHEIRO AUTOCAD ADAPTADO DO PISO 0 EDIFÍCIO B.....	40
FIGURA 5.7 - NOVA DATABASE	40
FIGURA 5.8 - CRIAR NOVA BASE DE DADOS – SELECIONAR TIPO DE DATABASE.....	41
FIGURA 5.9 - VALORE DE OMISSÃO NO PROCESSO DE CONVERSÃO	41
FIGURA 5.10 - CONVERSÃO PARA DATABASE INTERIOR	42
FIGURA 5.11 - FICHEIRO AUTOCAD DO PISO 0	42
FIGURA 5.12 - AJUSTE DE ESCALA.....	43
FIGURA 5.13 - LAYERS A SEREM CONVERTIDAS.....	44
FIGURA 5.14 - DEFINIR A ALTURA DOS OBJETOS DE CADA LAYER	45
FIGURA 5.15 - CRIAR SUBDIVISÃO	45
FIGURA 5.16 - CRIAR ESCADAS COM O "LEGO TOOL"	46

FIGURA 5.17 - NOVO PROJETO <i>WALLMAN</i>	47
FIGURA 5.18 - <i>DATABASE</i> INTERIOR DO EDIFÍCIO B CONCLUÍDO	48
FIGURA 5.19 - PROJETO <i>WALLMAN</i> URBANO DE LEIRIA	49
FIGURA 5.20 - IMAGEM EXPORTADA DO <i>AUTOCAD</i>	49
FIGURA 5.21 – PROJETO HÍBRIDO COM IMAGEM DE FUNDO COMO REFERÊNCIA	50
FIGURA 5.22 - PROCESSO DE CONVERSÃO DA INFORMAÇÃO TOPOGRÁFICA	51
FIGURA 5.23 – EXEMPLOS DO EDIFÍCIO B CONCLUÍDO	53
FIGURA 5.24 - EDIFÍCIO C CONCLUÍDO	54
FIGURA 5.25 - EDIFÍCIO D CONCLUÍDO.....	56
FIGURA 7.1 - ÁREA DAS CÉLULAS PISO 0 EDIFÍCIO A	62
FIGURA 7.2 - ÁREA DAS CÉLULAS PISO 1 EDIFÍCIO A	62
FIGURA 7.3 - ÁREA DAS CÉLULAS PISO 2 EDIFÍCIO A	62
FIGURA 7.4 - NÚMERO DE PORTADORAS RECEBIDAS NO PISO 2 DO EDIFÍCIO A	63
FIGURA 7.5 - PORTADORA DOMINANTE DO PISO 1 EDIFÍCIO A	64
FIGURA 7.6 - MÁXIMO SINAL RECEBIDO NO PISO 1 DO EDIFÍCIO A	64
FIGURA 7.7 - ANÁLISE DO SNIR DO PISO 1 EDIFÍCIO A	65
FIGURA 7.8 - MÁXIMO DÉBITO BINÁRIO DO PISO 1 EDIFÍCIO A	66
FIGURA 7.9 - ÁREA DAS CÉLULAS PISO 0 EDIFÍCIO B	67
FIGURA 7.10 - ÁREA DAS CÉLULAS PISO 1 EDIFÍCIO B	67
FIGURA 7.11 - ÁREA DAS CÉLULAS PISO 2 EDIFÍCIO B	67
FIGURA 7.12 - NÚMERO DE PORTADORAS RECEBIDAS NO PISO 2 DO EDIFÍCIO B	68
FIGURA 7.13 - PORTADORA DOMINANTE DO PISO 0 EDIFÍCIO B.....	68
FIGURA 7.14 - MÁXIMO SINAL RECEBIDO NO PISO 1 DO EDIFÍCIO B	69
FIGURA 7.15 - ANÁLISE DO SNIR DO PISO 1 EDIFÍCIO B	70
FIGURA 7.16 - MÁXIMO DÉBITO BINÁRIO DO PISO 1 EDIFÍCIO B	70
FIGURA 7.17 - ÁREA DAS CÉLULAS PISO 0 EDIFÍCIO C	71
FIGURA 7.18 - ÁREA DAS CÉLULAS PISO 1 EDIFÍCIO C	72
FIGURA 7.19 - ÁREA DAS CÉLULAS PISO 2 (CRECHE) EDIFÍCIO C.....	72
FIGURA 7.20 - NÚMERO DE PORTADORAS RECEBIDAS NO PISO 1 DO EDIFÍCIO C	72
FIGURA 7.21 - PORTADORA DOMINANTE DO PISO 1 EDIFÍCIO C.....	73
FIGURA 7.22 - MÁXIMO SINAL RECEBIDO NO PISO 1 DO EDIFÍCIO C	74
FIGURA 7.23 - ANÁLISE DO SNIR DO PISO 1 EDIFÍCIO C	74
FIGURA 7.24 - MÁXIMO DÉBITO BINÁRIO DO PISO 1 EDIFÍCIO C	75
FIGURA 7.25 - ÁREA DAS CÉLULAS PISO -1 EDIFÍCIO D.....	76
FIGURA 7.26 - ÁREA DAS CÉLULAS PISO 0 EDIFÍCIO D	76
FIGURA 7.27 - ÁREA DAS CÉLULAS PISO 1 EDIFÍCIO D	77
FIGURA 7.28 - ÁREA DAS CÉLULAS PISO 2 EDIFÍCIO D	77
FIGURA 7.29 - NÚMERO DE PORTADORAS RECEBIDAS NO PISO 1 DO EDIFÍCIO D	78
FIGURA 7.30 - PORTADORA DOMINANTE DO PISO -1 E PISO 0 EDIFÍCIO D	78
FIGURA 7.31 - PORTADORA DOMINANTE DO PISO 1 E DO PISO 2 EDIFÍCIO D.....	79
FIGURA 7.32 - MÁXIMO SINAL RECEBIDO NO PISO 1 DO EDIFÍCIO D	79
FIGURA 7.33 - ANÁLISE DO SNIR DO PISO 1 EDIFÍCIO D	80
FIGURA 7.34 - MÁXIMO DÉBITO BINÁRIO DO PISO -1 E PISO 0 EDIFÍCIO D	81
FIGURA 7.35 - MÁXIMO DÉBITO BINÁRIO DO PISO 1 E PISO 2 EDIFÍCIO D	81
FIGURA 7.36 – INDICAÇÃO DAS 2 ÁREAS EXTERIORES EM ANÁLISE	82
FIGURA 7.37 - MÁXIMO SINAL RECEBIDO NA ÁREA EXTERIOR NORTE DO <i>CAMPUS</i>	83
FIGURA 7.38 – MÁXIMO SNIR NA ÁREA EXTERIOR NORTE DO <i>CAMPUS</i>	83
FIGURA 7.39 - MÁXIMO SINAL RECEBIDO NA ÁREA EXTERIOR SUL DO <i>CAMPUS</i>	84

FIGURA 7.40 – MÁXIMO SNIR N A ÁREA EXTERIOR SUL DO <i>CAMPUS</i>	84
FIGURA A.1 – TABELA EXCEL COM AS PROPRIEDADES ELÉTRICAS DOS MATERIAIS.....	104
FIGURA B.1 - EDIFÍCIO A	105
FIGURA B.2 - EDIFÍCIO B.....	106
FIGURA B.3 - EDIFÍCIO C.....	107
FIGURA B.4 - EDIFÍCIO D	108
FIGURA B.5 - CANAIS UTILIZADOS PELOS AP'S	110
FIGURA C.1 - NOVO PROJETO <i>WALLMAN</i>	111
FIGURA C.2 - DEFINIR NOVA ÁREA DE PREDIÇÃO.....	112
FIGURA C.3 - OPÇÕES SELECIONADAS PARA A SIMULAÇÃO DE REDE.....	113
FIGURA C.4 - ATIVAÇÃO DA SIMULAÇÃO EM MODO HÍBRIDO.....	114
FIGURA D.1 - ÁREA DAS CÉLULAS PISO 0 EDIFÍCIO A	115
FIGURA D.2 - ÁREA DAS CÉLULAS PISO 1 EDIFÍCIO A	115
FIGURA D.3 - ÁREA DAS CÉLULAS PISO 2 EDIFÍCIO A	115
FIGURA D.4 - NÚMERO DE PORTADORAS RECEBIDAS NO PISO 0 DO EDIFÍCIO A	116
FIGURA D.5 - NÚMERO DE PORTADORAS RECEBIDAS NO PISO 1 DO EDIFÍCIO A	116
FIGURA D.6 - NÚMERO DE PORTADORAS RECEBIDAS NO PISO 2 DO EDIFÍCIO A	116
FIGURA D.7 - PORTADORA DOMINANTE DO PISO 0 EDIFÍCIO A	117
FIGURA D.8 - PORTADORA DOMINANTE DO PISO 1 EDIFÍCIO A	117
FIGURA D.9 - PORTADORA DOMINANTE DO PISO 2 EDIFÍCIO A	117
FIGURA D.10 - MÁXIMO SINAL RECEBIDO NO PISO 0 DO EDIFÍCIO A	118
FIGURA D.11 - MÁXIMO SINAL RECEBIDO NO PISO 1 DO EDIFÍCIO A	118
FIGURA D.12 - MÁXIMO SINAL RECEBIDO NO PISO 2 DO EDIFÍCIO A	118
FIGURA D.13 - ANÁLISE DO SNIR DO PISO 0 EDIFÍCIO A	119
FIGURA D.14 - ANÁLISE DO SNIR DO PISO 1 EDIFÍCIO A	119
FIGURA D.15 - ANÁLISE DO SNIR DO PISO 2 EDIFÍCIO A	119
FIGURA D.16 - MÁXIMO DÉBITO BINÁRIO DO PISO 0 EDIFÍCIO A	120
FIGURA D.17 - MÁXIMO DÉBITO BINÁRIO DO PISO 1 EDIFÍCIO A	120
FIGURA D.18 - MÁXIMO DÉBITO BINÁRIO DO PISO 2 EDIFÍCIO A	120
FIGURA D.19 - PROBABILIDADE DE RECEÇÃO PARA 24 MBIT/S DO PISO 0 EDIFÍCIO A	121
FIGURA D.20 - PROBABILIDADE DE RECEÇÃO PARA 24 MBIT/S DO PISO 1 EDIFÍCIO A	121
FIGURA D.21 - PROBABILIDADE DE RECEÇÃO PARA 24 MBIT/S DO PISO 2 EDIFÍCIO A	121
FIGURA E.1 - ÁREA DAS CÉLULAS PISO 0 EDIFÍCIO B.....	123
FIGURA E.2 - ÁREA DAS CÉLULAS PISO 1 EDIFÍCIO B.....	123
FIGURA E.3 - ÁREA DAS CÉLULAS PISO 2 EDIFÍCIO B.....	123
FIGURA E.4 - NÚMERO DE PORTADORAS RECEBIDAS NO PISO 0 DO EDIFÍCIO B.....	124
FIGURA E.5 - NÚMERO DE PORTADORAS RECEBIDAS NO PISO 1 DO EDIFÍCIO B.....	124
FIGURA E.6 - NÚMERO DE PORTADORAS RECEBIDAS NO PISO 2 DO EDIFÍCIO B.....	124
FIGURA E.7 - PORTADORA DOMINANTE DO PISO 0 EDIFÍCIO B	125
FIGURA E.8 - PORTADORA DOMINANTE DO PISO 1 EDIFÍCIO B	125
FIGURA E.9 - PORTADORA DOMINANTE DO PISO 2 EDIFÍCIO B	125
FIGURA E.10 - MÁXIMO SINAL RECEBIDO NO PISO 0 DO EDIFÍCIO B.....	126
FIGURA E.11 - MÁXIMO SINAL RECEBIDO NO PISO 1 DO EDIFÍCIO B.....	126
FIGURA E.12 - MÁXIMO SINAL RECEBIDO NO PISO 2 DO EDIFÍCIO B.....	126
FIGURA E.13 - ANÁLISE DO SNIR DO PISO 0 EDIFÍCIO B.....	127
FIGURA E.14 - ANÁLISE DO SNIR DO PISO 1 EDIFÍCIO B.....	127
FIGURA E.15 - ANÁLISE DO SNIR DO PISO 2 EDIFÍCIO B.....	127
FIGURA E.16 - MÁXIMO DÉBITO BINÁRIO DO PISO 0 EDIFÍCIO B.....	128

FIGURA E.17 - MÁXIMO DÉBITO BINÁRIO DO PISO 1 EDIFÍCIO B	128
FIGURA E.18 - MÁXIMO DÉBITO BINÁRIO DO PISO 2 EDIFÍCIO B	128
FIGURA E.19 - PROBABILIDADE DE RECEÇÃO PARA 24 MBIT/S DO PISO 0 EDIFÍCIO B.....	129
FIGURA E.20 - PROBABILIDADE DE RECEÇÃO PARA 24 MBIT/S DO PISO 1 EDIFÍCIO B.....	129
FIGURA E.21 - PROBABILIDADE DE RECEÇÃO PARA 24 MBIT/S DO PISO 2 EDIFÍCIO B.....	129
FIGURA F.1 - ÁREA DAS CÉLULAS PISO 0 EDIFÍCIO C.....	131
FIGURA F.2 - ÁREA DAS CÉLULAS PISO 1 EDIFÍCIO C.....	131
FIGURA F.3 - ÁREA DAS CÉLULAS PISO 2 (CRECHE) EDIFÍCIO C.....	131
FIGURA F.4 - NÚMERO DE PORTADORAS RECEBIDAS NO PISO 0 DO EDIFÍCIO C.....	132
FIGURA F.5 - NÚMERO DE PORTADORAS RECEBIDAS NO PISO 1 DO EDIFÍCIO C.....	132
FIGURA F.6 - NÚMERO DE PORTADORAS RECEBIDAS NO PISO 2 DO EDIFÍCIO C.....	132
FIGURA F.7 - PORTADORA DOMINANTE DO PISO 0 EDIFÍCIO C.....	133
FIGURA F.8 - PORTADORA DOMINANTE DO PISO 1 EDIFÍCIO C.....	133
FIGURA F.9 - PORTADORA DOMINANTE DO PISO 2 EDIFÍCIO C.....	133
FIGURA F.10 - MÁXIMO SINAL RECEBIDO NO PISO 0 DO EDIFÍCIO C.....	134
FIGURA F.11 - MÁXIMO SINAL RECEBIDO NO PISO 1 DO EDIFÍCIO C.....	134
FIGURA F.12 - ANÁLISE DO SNIR DO PISO 0 EDIFÍCIO C.....	135
FIGURA F.13 - ANÁLISE DO SNIR DO PISO 1 EDIFÍCIO C.....	135
FIGURA F.14 - ANÁLISE DO SNIR DO PISO 2 EDIFÍCIO C.....	135
FIGURA F.15 - MÁXIMO DÉBITO BINÁRIO DO PISO 0 EDIFÍCIO C	136
FIGURA F.16 - MÁXIMO DÉBITO BINÁRIO DO PISO 1 EDIFÍCIO C	136
FIGURA F.17 - PROBABILIDADE DE RECEÇÃO PARA 24 MBIT/S DO PISO 0 EDIFÍCIO C.....	137
FIGURA F.18 - PROBABILIDADE DE RECEÇÃO PARA 24 MBIT/S DO PISO 1 EDIFÍCIO C.....	137
FIGURA G.1 - ÁREA DAS CÉLULAS PISO -1 EDIFÍCIO D	139
FIGURA G.2 - ÁREA DAS CÉLULAS PISO 0 EDIFÍCIO D.....	139
FIGURA G.3 - ÁREA DAS CÉLULAS PISO 1 EDIFÍCIO D.....	140
FIGURA G.4 - ÁREA DAS CÉLULAS PISO 2 EDIFÍCIO D.....	140
FIGURA G.5 - NÚMERO DE PORTADORAS RECEBIDAS NO PISO -1 DO EDIFÍCIO D	141
FIGURA G.6 - NÚMERO DE PORTADORAS RECEBIDAS NO PISO 0 DO EDIFÍCIO D.....	141
FIGURA G.7 - NÚMERO DE PORTADORAS RECEBIDAS NO PISO 1 DO EDIFÍCIO D.....	142
FIGURA G.8 - NÚMERO DE PORTADORAS RECEBIDAS NO PISO 2 DO EDIFÍCIO D.....	142
FIGURA G.9 - PORTADORA DOMINANTE DO PISO -1 E PISO 0 EDIFÍCIO D.....	143
FIGURA G.10 - PORTADORA DOMINANTE DO PISO 1 E DO PISO 2 EDIFÍCIO D	143
FIGURA G.11 - MÁXIMO SINAL RECEBIDO NO PISO -1 DO EDIFÍCIO D	144
FIGURA G.12 - MÁXIMO SINAL RECEBIDO NO PISO 0 DO EDIFÍCIO D.....	144
FIGURA G.13 - MÁXIMO SINAL RECEBIDO NO PISO 1 DO EDIFÍCIO D.....	145
FIGURA G.14 - MÁXIMO SINAL RECEBIDO NO PISO 2 DO EDIFÍCIO D.....	145
FIGURA G.15 - ANÁLISE DO SNIR DO PISO -1 EDIFÍCIO D	146
FIGURA G.16 - ANÁLISE DO SNIR DO PISO 0 EDIFÍCIO D.....	146
FIGURA G.17 - ANÁLISE DO SNIR DO PISO 1 EDIFÍCIO D.....	147
FIGURA G.18 - ANÁLISE DO SNIR DO PISO 2 EDIFÍCIO D.....	147
FIGURA G.19 - MÁXIMO DÉBITO BINÁRIO DO PISO -1 E PISO 0 EDIFÍCIO D	148
FIGURA G.20 - MÁXIMO DÉBITO BINÁRIO DO PISO 1 E PISO 2 EDIFÍCIO D.....	148
FIGURA G.21 - PROBABILIDADE DE RECEÇÃO PARA 24 MBIT/S DO PISO -1 E PISO 0 EDIFÍCIO D.....	149
FIGURA G.22 - PROBABILIDADE DE RECEÇÃO PARA 24 MBIT/S DO PISO 1 E PISO 2 EDIFÍCIO D.....	149
FIGURA H.1 - INDICAÇÃO DAS 2 ÁREAS EXTERIORES EM ANÁLISE.....	151
FIGURA H.2 - MÁXIMO SINAL RECEBIDO NA ÁREA EXTERIOR NORTE DO <i>CAMPUS</i>	151
FIGURA H.3 - MÁXIMO SNIR NA ÁREA EXTERIOR NORTE DO <i>CAMPUS</i>	152

FIGURA H.4 - NÚMERO DE PORTADORAS RECEBIDAS NA ÁREA EXTERIOR NORTE DO <i>CAMPUS</i>	152
FIGURA H.5 - PORTADORA DOMINANTE NA ÁREA EXTERIOR NORTE DO <i>CAMPUS</i>	153
FIGURA H.6 - PROBABILIDADE DE RECEÇÃO PARA 24Mbit/s NA ÁREA EXTERIOR NORTE	153
FIGURA H.7 - MÁXIMO SINAL RECEBIDO NA ÁREA EXTERIOR SUL DO <i>CAMPUS</i>	154
FIGURA H.8 - MÁXIMO SNIR N A ÁREA EXTERIOR SUL DO <i>CAMPUS</i>	154
FIGURA H.9 - NÚMERO DE PORTADORAS RECEBIDAS NA ÁREA EXTERIOR SUL DO <i>CAMPUS</i>	155
FIGURA H.10 - PORTADORA DOMINANTE NA ÁREA EXTERIOR SUL DO <i>CAMPUS</i>	155
FIGURA H.11 - PROBABILIDADE DE RECEÇÃO PARA 24Mbit/s NA ÁREA EXTERIOR SUL	156
FIGURA I.1 - PONTOS DE MEDIÇÃO NO PISO 0 DO EDIFÍCIO A	157
FIGURA I.2 - PONTOS DE MEDIÇÃO NO PISO 1 DO EDIFÍCIO A	158
FIGURA I.3 - PONTOS DE MEDIÇÃO NO PISO 2 DO EDIFÍCIO A	159
FIGURA I.4 - PONTOS DE MEDIÇÃO NO PISO 0 DO EDIFÍCIO B	160
FIGURA I.5 - PONTOS DE MEDIÇÃO NO PISO 1 DO EDIFÍCIO B	161
FIGURA I.6 - PONTOS DE MEDIÇÃO NO PISO 2 DO EDIFÍCIO B	162
FIGURA I.7 - PONTOS DE MEDIÇÃO NO PISO 0 DO EDIFÍCIO C	163
FIGURA I.8 - PONTOS DE MEDIÇÃO NO PISO 1 DO EDIFÍCIO C	164
FIGURA I.9 - PONTOS DE MEDIÇÃO NO PISO -1 DO EDIFÍCIO D.....	165
FIGURA I.10 - PONTOS DE MEDIÇÃO NO PISO 0 DO EDIFÍCIO D	167
FIGURA I.11 - PONTOS DE MEDIÇÃO NO PISO 1 DO EDIFÍCIO D	168
FIGURA I.12 - PONTOS DE MEDIÇÃO NO PISO 2 DO EDIFÍCIO D	169

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Índice de Tabelas

TABELA 4.1 - ALGUMAS CARACTERÍSTICAS DO EDIFÍCIO B	26
TABELA 4.2 - ALGUMAS CARACTERÍSTICAS DO EDIFÍCIO C	27
TABELA 4.3 - ALGUMAS CARACTERÍSTICAS DO EDIFÍCIO D.....	28
TABELA 4.4 - PEQUENA AMOSTRA DA TABELA “EXCEL” COM AS PROPRIEDADES ELÉTRICAS DOS MATERIAIS.....	30
TABELA 4.5 - NÍVEIS DE POTÊNCIA DO CISCO AIRONET 1100.....	34
TABELA 4.6 - NÍVEIS DE POTÊNCIA DO CISCO AIRONET 1240AG	34
TABELA 5.1 - MATERIAIS IMPORTADOS DO CATÁLOGO GLOBAL DE MATERIAIS	47
TABELA 7.1 - SENSIBILIDADE DE RECEÇÃO DO CISCO AIRONET 802.11A/B/G WIRELESS CARDBUS ADAPTER	61
TABELA 7.2 - EXEMPLO DAS MEDIÇÕES REALIZADAS	85
TABELA 7.3 - COMPARAÇÃO ENTRE VALORES SIMULADOS E MEDIDOS	86
TABELA I.1 - MEDIÇÕES PARA OS PONTOS 1, 2 E 3.....	157
TABELA I.2 - MEDIÇÕES PARA OS PONTOS 4 E 5	158
TABELA I.3 - MEDIÇÕES PARA OS PONTOS 6 E 7	159
TABELA I.4 - MEDIÇÕES PARA OS PONTOS 8, 9 E 10.....	160
TABELA I.5 - MEDIÇÕES PARA OS PONTOS 11 E 12	161
TABELA I.6 - MEDIÇÕES PARA OS PONTOS 13, 14 E 15.....	162
TABELA I.7 - MEDIÇÕES PARA OS PONTOS 16 E 17	163
TABELA I.8 - MEDIÇÕES PARA OS PONTOS 18, 19 E 20.....	164
TABELA I.9 - MEDIÇÕES PARA OS PONTOS 21 E 22	165
TABELA I.10 - MEDIÇÕES PARA OS PONTOS 23 E 24	166
TABELA I.11 - MEDIÇÕES PARA OS PONTOS 25 E 26	166
TABELA I.12 - MEDIÇÕES PARA OS PONTOS 27, 28 E 29	167
TABELA I.13 - MEDIÇÕES PARA OS PONTOS 30 E 31	168
TABELA I.14 - MEDIÇÕES PARA OS PONTOS 32 E 33	169
TABELA I.15 - MEDIÇÕES PARA OS PONTOS 34 E 35	170

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Lista de Siglas

2D	Duas Dimensões
2G	Segunda geração de sistemas de comunicações móveis
3D	Três Dimensões
3G	Terceira geração de sistemas de comunicações móveis
3GPP	3rd Generation Partnership Project
4G	Quarta geração de sistemas de comunicações móveis
AP	Ponto de acesso (Access Point)
CAD	Computer Aided Design
CCI	Co-Channel Interference
CDMA	Code Division Multiple Access
CNP	Combined Network Planning
DAS	Distributed Antenna System
DECT	Digital Enhanced Cordless Telecommunications
DEM	Digital Elevation Model
DL	Download
DPM	Dominant Path Prediction Model
EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolution
ESTG	Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Leiria
E-UTRAN	Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network
FDMA	Frequency Division Multiple Access
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile Communications
HSPA	High Speed Packet Access

IDP	Indoor Dominant Path Model
IPL	Instituto Politécnico de Leiria
IPLeiria	Instituto Politécnico de Leiria
LTE	Long Term Evolution
MHz	MegaHertz
MIMO	Multiple-Input Multiple-Output
NASA	National Aeronautics and Space Administration
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access
SC-FDMA	Single-Carrier Frequency Division Multiple Access
SNIR	Relação Sinal/Ruído + Interferência
SNR	Relação Sinal/Ruído
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
TDMA	Time Division Multiple Access
TETRA	Terrestrial Trunked Radio
UDP	Urban Dominant Path Model
UL	Upload
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
USGS	United States Geological Survey
UTM	Universal Transverse Mercator
VoIP	Voice over IP
W	Watt
WiMax	World Wide Interoperability for Microwave access

AGRADECIMENTOS	III
RESUMO	V
ABSTRACT	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABELAS	XV
LISTA DE SIGLAS	XVII
ÍNDICE	XIX
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. MOTIVAÇÃO E ENQUADRAMENTO	1
1.2. OBJETIVOS	1
1.3. ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO	3
2. ESTUDO DAS TÉCNICAS DE PLANEAMENTO DE REDES MÓVEIS DE BANDA LARGA	5
2.1. WI-FI	5
2.2. REDES SEM FIOS DE ALTA DENSIDADE	9
2.3. INTERFERÊNCIA CO-CANAL	10
2.4. CRITÉRIOS DE MELHORAMENTO DA REDE WI-FI	12
3. FAMILIARIZAÇÃO COM FERRAMENTA DE PLANEAMENTO	15
3.1. <i>WINPROP</i>	15
3.2. O MÓDULO <i>WALLMAN</i>	15
3.2.1. <i>Base de dados urbana</i>	15
3.2.2. <i>Base de dados interior</i>	16
3.2.3. <i>Base de dados híbrida (Urban/Indoor (CNP))</i>	18
3.2.4. <i>Propriedades de material para os objetos da base de dados</i>	19
3.3. O MÓDULO <i>PROMAN</i>	20
3.4. MODELOS DE PROPAGAÇÃO UTILIZADOS	22
4. ANÁLISE DO CENÁRIO DE ESTUDO E LEVANTAMENTO DA REDE WI-FI EXISTENTE	25
4.1. CARACTERÍSTICAS DOS EDIFÍCIOS	25
4.2. EDIFÍCIO B	26
4.3. EDIFÍCIO C	27
4.4. EDIFÍCIO D	28
4.5. MATERIAIS CONSTITUINTES DOS EDIFÍCIOS	29
4.6. MATERIAIS DOS EDIFÍCIOS NO <i>WALLMAN</i>	29
4.7. REDE WI-FI EXISTENTE	31
5. CONSTRUÇÃO DA BASE DE DADOS DO CENÁRIO EM ESTUDO	35
5.1. ADAPTAÇÃO DO <i>AUTOCAD</i> PARA O <i>WALLMAN</i>	35
5.2. PROCESSO DE CONSTRUÇÃO DOS EDIFÍCIOS COM O " <i>WALLMAN</i> "	40

5.3.	TOPOGRAFIA DO CENÁRIO.....	50
5.4.	BASE DE DADOS DO EDIFÍCIO B CONCLUÍDO	52
5.5.	BASE DE DADOS DO EDIFÍCIO C CONCLUÍDO	54
5.6.	BASE DE DADOS DO EDIFÍCIO D CONCLUÍDO.....	55
6.	CONFIGURAÇÃO DE PROJETO	57
6.1.	ATRIBUIÇÃO DOS PONTOS DE ACESSO WI-FI COM O <i>WINPROP</i>	57
6.2.	EDIFÍCIO A.....	58
6.3.	EDIFÍCIO B.....	58
6.4.	EDIFÍCIO C.....	58
6.5.	EDIFÍCIO D.....	58
6.6.	A SIMULAÇÃO DE REDE E RESULTADOS	58
6.7.	PRÉ-PROCESSAMENTO DA BASE DE DADOS	59
7.	SIMULAÇÕES DA REDE WI-FI	61
7.1.	CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	61
7.2.	EDIFÍCIO A.....	61
7.2.1.	Área das células.....	61
7.2.2.	Número de portadoras recebidas.....	63
7.2.3.	Portadora dominante.....	63
7.2.4.	Máximo sinal recebido	64
7.2.5.	Análise do SNIR.....	65
7.2.6.	Máxima taxa de débito binário	65
7.2.7.	Análise geral do edifício A	66
7.3.	EDIFÍCIO B.....	66
7.3.1.	Área das células.....	66
7.3.2.	Número de portadoras recebidas.....	68
7.3.3.	Portadora dominante.....	68
7.3.4.	Máximo sinal recebido	69
7.3.5.	Análise do SNIR.....	69
7.3.6.	Máxima taxa de débito binário	70
7.3.7.	Análise geral do edifício B	71
7.4.	EDIFÍCIO C.....	71
7.4.1.	Área das células.....	71
7.4.2.	Número de portadoras recebidas.....	72
7.4.3.	Portadora dominante.....	73
7.4.4.	Máximo sinal recebido	73
7.4.5.	Análise do SNIR.....	74
7.4.6.	Máxima taxa de débito binário	75
7.4.7.	Análise geral do edifício C	75
7.5.	EDIFÍCIO D.....	76
7.5.1.	Área das células.....	76
7.5.2.	Número de portadoras recebidas.....	77
7.5.3.	Portadora dominante.....	78
7.5.4.	Máximo sinal recebido	79
7.5.5.	Análise do SNIR.....	80
7.5.6.	Máxima taxa de débito binário	81
7.5.7.	Análise geral do edifício D	82
7.6.	EXTERIOR DO CAMPUS	82

7.6.1.	<i>Máximo sinal recebido e nível do SNIR na área exterior norte</i>	83
7.6.2.	<i>Máximo sinal recebido e nível do SNIR na área exterior sul</i>	84
7.6.3.	<i>Análise geral do exterior do Campus</i>	85
7.7.	AFERIÇÃO PRÁTICA DA COBERTURA	85
8.	CONCLUSÃO	87
8.1.	SUMÁRIO	87
8.1.	RESULTADOS	88
8.2.	TRABALHO FUTURO	88
	REFERÊNCIAS	91
	ANEXOS	95
A.	TABELA EXCEL COM OS VALORES DAS PROPRIEDADES ELÉTRICAS DOS MATERIAIS	95
B.	LOCALIZAÇÃO DOS AP'S	105
C.	DESCRIÇÃO DOS PASSOS DE CRIAÇÃO DE PROJETO NOVO	111
D.	SIMULAÇÕES DO EDIFÍCIO A	115
E.	SIMULAÇÕES DO EDIFÍCIO B	123
F.	SIMULAÇÕES DO EDIFÍCIO C	131
G.	SIMULAÇÕES DO EDIFÍCIO D	139
H.	SIMULAÇÕES DO EXTERIOR DO CAMPUS	151
I.	AFERIÇÃO DOS RESULTADOS	157

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

1.1. Motivação e enquadramento

A norma IEEE 802.11, comumente designada por “Wireless-Fidelity” ou Wi-Fi, é constituída por um conjunto de normas específicas que define o funcionamento de uma rede sem fios. São definidos vários protocolos na família da norma 802.11, abordando várias frequências de operação e várias taxas de transmissão. A norma 802.11g é, atualmente, o protocolo predominante implantado no *Campus 2* no IPEiria. A área de cobertura da rede móvel Wi-Fi permite aos utilizadores no *Campus* moverem-se livremente, dentro do alcance dos pontos de acesso (AP’s), com os seus computadores portáteis, smartphones ou outros dispositivos móveis.

As redes sem fios não substituem as redes com cabos. A principal vantagem é a mobilidade que elas permitem ao utilizador da rede, apesar do débito de transmissão de dados das redes sem fios ser limitado pela largura de banda disponível, assim como, problemas de cobertura pelo facto de usarem a interface aérea. Neste particular, as ondas de rádio podem sofrer diversos problemas de propagação que podem prejudicar as ligações das redes sem fios, como por exemplo, a existência de paredes, ou mesmo a interferência de outros AP’s [1].

Aliado a este facto, o número de utilizadores e o número de dispositivos móveis aumentou muito nos últimos anos, exigindo cada vez mais serviços talhados para as redes móveis, desafiando a capacidade da rede e de velocidade disponível para cada utilizador.

Para uma implementação de uma determinada tecnologia, ou uma melhoria de uma estrutura de rede sem fios existente, o processo de planeamento não deve ser evitado, e é fundamental, para se obter um sistema que cumpra os requisitos exigidos ou especificados, quer seja em termos de cobertura, de capacidade ou de custos. Dado a natureza da exigência de rigor dos resultados, aplicada na utilização dos serviços disponíveis ao utilizador, é necessário o envolvimento de um ambiente virtual de simulação, isto é, a elaboração de um cenário gráfico editado que sirva como base de dados representativa de um cenário real e sobre as quais as simulações de propagação e de rede vão incidir.

1.2. Objetivos

O presente trabalho aborda a criação de um cenário virtual que correspondente a uma área escolar real. Este cenário virtual é uma base de dados, que simula de uma forma detalhada um *Campus* de ensino superior. É considerado uma plataforma genérica que poderá ser utilizada para facilitar futuros planeamentos de estruturas de rede sem fios e no âmbito

deste projeto, permitir a realização de simulações de desempenho das redes móveis atualmente utilizadas nesta área escolar.

Neste enquadramento, o presente trabalho tem por objetivos:

Realizar um levantamento da rede sem fios atualmente instalada no *Campus 2* do IPLeiria, em devida articulação com a Direção de Serviços Informáticos do IPL;

Realizar o levantamento das plantas e edifícios existentes no *Campus 2*;

Familiarização com ferramenta de edição gráfica para elaboração de cenários virtuais, tendo em vista a sua utilização para simulação de redes móveis sem fios;

Familiarização com ferramenta computacional de simulação de redes móveis sem fios, tendo em vista o mapeamento da rede instalada e análise de desempenho da mesma;

A elaboração de plantas 3D dos edifícios e sua envolvente (Figura 1.1);

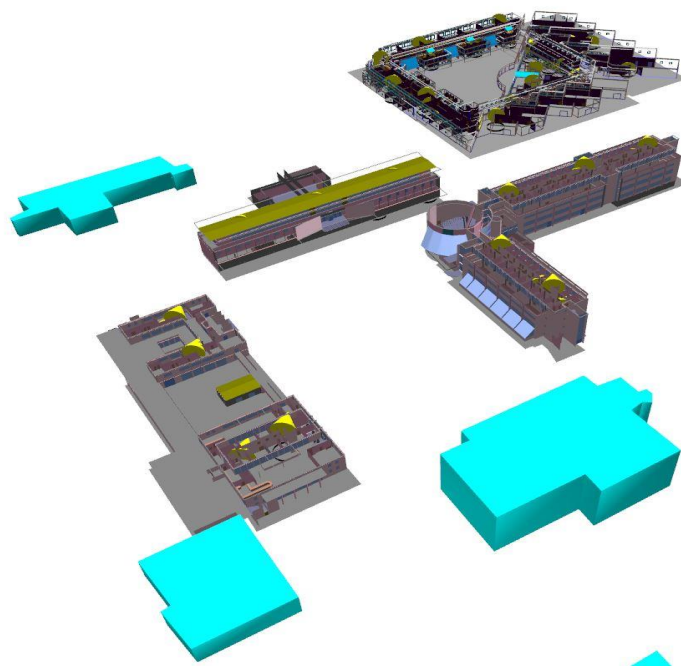


Figura 1.1 – Imagem em vista 3D do cenário em estudo

Realizar o estudo e análise de cobertura e problemas de interferência;

Criar plataforma genérica de planeamento de redes sem fios do *Campus 2*;

Para executar estas tarefas, é imperativo a utilização de um *software* dedicado, de modo a possibilitar análises precisas do cenário em estudo. Para tal, vamos recorrer ao *software Winprop* da “AWE Communications GmbH”, que tem disponível vários módulos para várias finalidades, consoante o que pretende realizar. Neste projeto vão ser necessário dois desses módulos, o módulo *Wallman* e o módulo *Proman*, ambos pertencentes ao *software Winprop*.

Com o módulo *Wallman* cria-se o cenário base, sobre o qual irá incidir toda a implementação, análise e o estudo do projeto. Esse cenário base tem que ser o mais detalhado possível de modo a permitir fazer as simulações o mais próximo possível da realidade.

Posteriormente, com o módulo *Proman*, realiza-se a simulação de implementação da rede sem fios, no qual se realizam as simulações pretendidas, aplicadas no cenário criado no *Wallman*, de modo a obter as características da rede Wi-Fi atualmente implementadas no *Campus 2do IPLeiria*.

1.3. Organização do documento

O presente documento encontra-se dividido em 8 capítulos e diversos anexos.

Após o capítulo introdutório, é apresentado no capítulo 2 o estudo das técnicas de planeamento de redes móveis Wi-Fi.

No capítulo 3 é apresentado o resultado da familiarização com a ferramenta de planeamento *Winprop*, no que respeita aos módulos *Wallman* e *Proman*.

No capítulo 4 é realizado uma análise ao cenário de estudo, o *Campus* escolar, com todas as suas características, incluindo todos os edifícios e as suas áreas envolventes, assim como o levantamento da rede Wi-Fi existente com vista à simulação na plataforma de planeamento e a integração na ferramenta de planeamento.

O capítulo 5 engloba a descrição de todo o processo de construção da base de dados do cenário em estudo, incluindo as adaptações necessárias no processo de conversão de dados do cenário.

No capítulo 6 são apresentadas todos os passos tomados na configuração do projeto.

As simulações realizadas são apresentadas no capítulo 7, que apresenta a simulação da rede Wi-Fi com base em cenários de teste realistas e a aferição prática.

A conclusão do relatório é apresentada no capítulo 8, onde são apresentadas as conclusões obtidas, os resultados e o enquadramento para realização de trabalho futuro.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

2. Estudo das técnicas de planeamento de redes móveis de banda larga

2.1. Wi-Fi

O planeamento de um sistema móvel requer que desde o início sejam definidos todos os objetivos. Esta abordagem é essencial para se conseguir obter uma boa cobertura respeitando todos os requisitos de tráfego, capacidade disponível e os níveis de serviço. O principal objetivo do planeamento de uma rede celular é fornecer um nível de qualidade elevado aos serviços possibilitados pela rede com o menor custo possível na implementação e exploração da rede.

Na fase inicial de planeamento é realizado um levantamento de todas as informações necessárias para a implementação da rede. São definidos os principais objetivos e necessidades do espaço através da definição da área geográfica onde se pretende implementar a infraestrutura.

O processo de criação de redes Wi-Fi pode começar de várias maneiras, mas geralmente começa com uma necessidade de disponibilizar ligações sem fios a uma área específica onde utilizadores participam numa atividade focada. Para além de entender as necessidades é preciso entender o que é possível atingir. Geralmente existe um objetivo de utilização principal que serve de base de critério que define qual é a necessidade para a conectividade no sistema. A compreensão dos requisitos de taxa de transmissão para as aplicações e outras atividades irá fornecer o objetivo de um débito binário utilizável pelos utilizadores, que multiplicado pelo número de utilizadores produz o débito binário agregado necessário. O valor de débito binário necessário por ligação será usado para as decisões que surgem ao longo do projeto e da conceção da rede sem fios (Figura 2.1) [2].

Application by Use Case	Nominal Throughput
Web - Casual	500 kilobits per second (Kbps)
Web - Instructional	1 Megabit per second (Mbps)
Audio - Casual	100 Kbps
Audio - instructional	1 Mbps
On-demand or Streaming Video - Casual	1 Mbps
On-demand or Streaming Video - Instructional	2-4 Mbps
Printing	1 Mbps
File Sharing - Casual	1 Mbps
File Sharing - Instructional	2-8 Mbps
Online Testing	2-4 Mbps
Device Backups	10-50 Mbps

Figura 2.1 – Estimativa de requisitos de débito binário (retirado de [2])

Em todo o caso, é recomendado realizar testes de aplicação para validação dos requisitos de débito binário e assim utilizar esse valor para determinar o débito total necessário para uma boa cobertura de rede sem fios, relevando desde logo a heterogeneidade de cenários e de utilizadores.

Numa rede móvel sem fios Wi-Fi os canais utilizados pelas estações são compartilhados, isto é, cada estação apenas utiliza um canal e esse mesmo canal é utilizado para todos os utilizadores que possam estar associados a essa estação. Tanto o *downlink* e como o *uplink* são realizados nesse mesmo canal. De uma forma simplista, poderemos dizer que centenas de pessoas podem aceder confortavelmente a um AP mas a questão não deve ser quantos utilizadores podem com sucesso associar a um AP, mas sim quantos utilizadores podem ser associados e ainda assim obter um débito binário com um rendimento que seja aceitável.

Numa rede Wi-Fi real, a eficácia numa aplicação real é o que realmente importa para o utilizador final, isto é, a velocidade de transmissão disponível. A velocidade de transmissão de um canal é condicionada por vários fatores, um deles os protocolos de comunicação, que impõe um débito binário útil disponível menor. Os pacotes na transmissão contêm uma certa quantidade de sobrecarga que é necessária para controlar a comunicação e controlar os pacotes. O rendimento da utilização da rede sem fios é condicionado pelo transporte de dados dentro dessa sobrecarga, mas que é indispensável para realizar tráfego seguro e com gestão de tráfego e colisões nas comunicações dos vários utilizados. O número das ligações de uma célula é o que determina a taxa de transferência total que será realizado por ligação. Cada operação de ligação numa área de alta densidade Wi-Fi consome tempo de transmissão e deverá ser parte do cálculo do débito binário total. Um aumento no número de ligações de dispositivos é uma das principais razões pela qual as estruturas de rede antigas têm nos dias de hoje problemas de rendimento notórias. Assim, é necessário ter a informação de qual o débito binário bruto e o débito binário disponível ou útil [2].

A Figura 2.2 mostra o rendimento médio na aplicação de protocolo em condições boas de radiofrequência. Para o caso da rede 802.11g podemos verificar que apresenta uma taxa de transmissão útil de aproximadamente 25 Mbps.

Protocol	Throughput (Mbps)
802.11b	7.2
802.11b/g mix	13
802.11g	25
802.11a	25
802.11n - HT20 one spatial stream (1ss) Modulation Coding Scheme 7 (MCS7)	25
802.11n - HT20 2ss Modulation Coding Scheme 15 (MCS15)	70
802.11n - HT40 2ss Modulation Coding Scheme 15 (MCS15)	160

Figura 2.2 - Velocidades de transmissão disponíveis (retirada de [2])

Embora o IEEE 802.11 b/g possa ser considerada uma tecnologia consolidada, a sua implementação prática continua a apresentar desafios, devido ao número limitado de canais não sobrepostos disponíveis para esta tecnologia. Isto torna-se particularmente verdadeiro em cenários com uma elevada densidade de utilizadores onde é necessário um grande número de AP's para produzir a capacidade adequada da mesma área [3].

O principal objetivo na implementação rede Wi-Fi é maximizar a cobertura e a capacidade. De um modo simplista podemos diferenciar as duas aproximações na abordagem da planificação de redes Wi-Fi. A abordagem através do planeamento orientado para a cobertura e a abordagem através do planeamento orientado para a capacidade.

As implementações orientadas para a cobertura tendem a apoiar uma baixa densidade de utilizadores com uma baixa necessidade de transferência. Esta abordagem é comum em pontos de acesso públicos, armazéns e fábricas onde o fator económico é mais importante do que o fator de desempenho. Posicionam-se alguns AP's e utiliza-se a potência do sinal de rádio tão alta quanto possível. Mas a experiência do mundo real mostra que esta abordagem de alta potência não é a solução para implementações de alta capacidade. De facto, para permitir o alcance de uma rede maior, cria-se problemas para quando se exige uma alta taxa de transmissão, sendo agravada com a interferência do canal adjacente, que aumenta exponencialmente com o aumento da saída de potência. Outro problema é o resultado da associação das várias taxas transmissão disponíveis. Quanto mais distante o cliente estiver do ponto de acesso, menor a taxa de transmissão de dados. Uma célula grande, servida por um ponto de acesso, até 50 % dos utilizadores podem estar a funcionar na área de menor taxa de transmissão.

Implementações de capacidade têm como objetivo suportar um grande número de utilizadores de banda larga e aplicações de missão crítica tais como serviços de voz e vídeo. Embora esta abordagem tenha sido pioneira em áreas onde existe uma maior proliferação de dispositivos sem fios e de comunicação multimédia, como hospitais e instituições de ensino, nos dias de hoje pode ser considerada como aplicável em qualquer planeamento, independentemente das características do cenário, dado que cada vez mais se pretende, como objetivo preferencial de planeamento, a máxima capacidade da rede local sem fios.

Estas zonas de alta capacidade têm implementado uma maior densidade de pontos de acesso através da redução do tamanho das células de cada um. O tamanho da célula é mais reduzido, assim como a potência de sinal e as taxas de dados de valor inferior são desativados. Esta técnica reduz os problemas associados à interferência de canal adjacente, otimizando o desempenho de todos os clientes que utilizam a rede [4].

O processo de levantamento do local é realizado em duas fases principais: determinar as necessidades do espaço e definir como implementar uma rede sem fios que atenda a essas necessidades. No entanto, estas duas fases podem ser subdivididas em várias subfases ou subtarefas. Assim, é necessário determinar as necessidades e os objetivos da organização, os requisitos funcionais e do utilizador, as restrições das características do espaço, as

restrições orçamentais, as restrições técnicas, as restrições regulatórias, definição dos objetivos de aplicação e definição dos objetivos técnicos [5].

A Figura 2.3 representa um exemplo de um edifício, com uma área de cobertura realizada por três AP's. Se houver poucos utilizadores sem fios, este tipo de implementação é bastante aceitável [6].

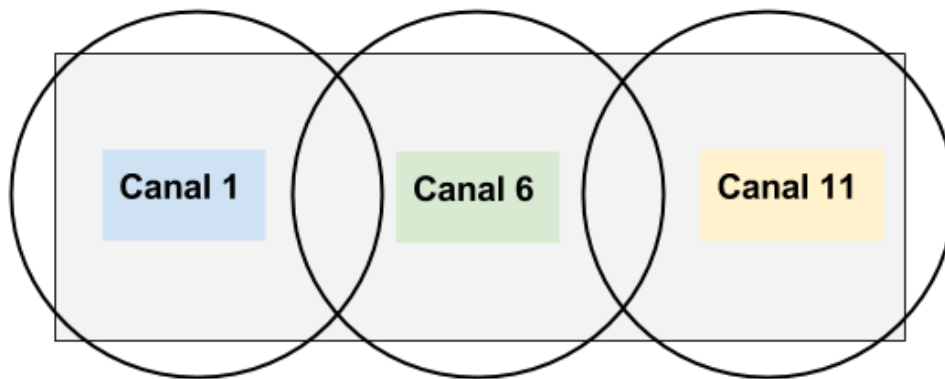


Figura 2.3 - Cobertura de rede com 3 pontos de acesso

Com o aumento de dispositivos sem fios, todas as estações clientes que se encontrem ligados a um único ponto de acesso compartilham os recursos de transferência desse mesmo ponto de acesso. Por isso, é importante conceber a rede para tentar limitar o número de clientes que são simultaneamente conectadas a um único ponto de acesso. Tal consegue-se, primeiramente, por determinar um número máximo de estações cliente ligados a um ponto de acesso simultaneamente. Para fornecer essa capacidade é necessário determinar o tamanho da área de alcance do ponto de acesso, ajustando o seu nível de energia, para criar uma célula do tamanho desejado.

A Figura 2.4 mostra o contorno do mesmo edifício referido anteriormente, mas, uma vez que existem muitas mais estações sem fios, os tamanhos (cobertura) das células foram diminuídos, enquanto o número de células foi aumentado.

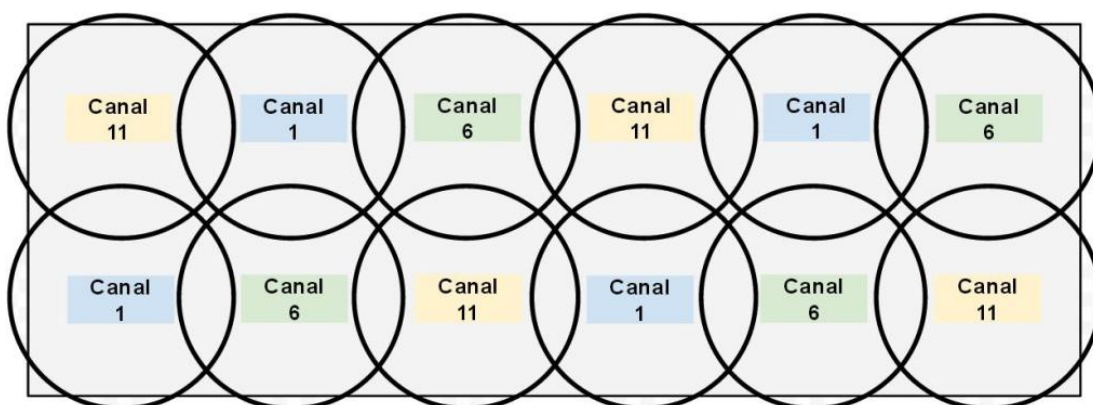


Figura 2.4 - Cobertura sem fios com 12 pontos de acesso

Outra forma de apoio na capacidade da rede sem fios para um grande número de utilizadores é a co-localização de pontos de acesso. A co-localização significa a colocação

de múltiplos pontos de acesso próximos uns dos outros, onde o sinal de um AP não interfira e afete o sinal de outro AP. As tecnologias 802.11b e 802.11g só são capazes de ter três pontos de acesso na mesma área, sem causar interferência. Teoricamente a co-localização de três AP's tem uma velocidade acumulada potencial de três vezes a velocidade de um único AP (assumindo que os três pontos de acesso são iguais). É apenas recomendável a utilização de AP's co-localizados só quando a concentração de utilizadores é tão denso que, mesmo quando o tamanho da célula está no seu menor, ainda houver mais utilizadores do que o desejado. É importante notar que enquanto os canais podem ser independentes, é crucial que as antenas tenham separação suficiente entre elas [6].

O fator crítico na medição do desempenho global de qualquer sistema de comunicação é a relação sinal ruído (SNR), a razão entre a potência do sinal (S) e potência de ruído (N). Quanto maior for a relação sinal ruído, melhor será o desempenho da ligação. O nível de potência absoluta, quer do sinal, quer do ruído, é irrelevante. Nos ambientes de comunicação sem fios também se tem em consideração os obstáculos que causam reflexão, refração e absorção do sinal [4].

2.2. Redes sem fios de alta densidade

São normalmente consideradas redes sem fios de alta densidade os ambientes em que o número de dispositivos cliente e as necessidades transmissão de dados para os serviços excedem a capacidade disponível de uma infraestrutura de rede tradicional, orientada para a cobertura.

O fator limitativo é o “tempo de antena” (airtime) disponível. Como o Wi-Fi depende de um meio partilhado, isto é, o ar, clientes e pontos de acesso devem disputar, de forma criteriosa, o tempo de antena disponível para transmitir dados [7].

No projeto de uma rede numa perspetiva de capacidade, os clientes devem se ligar aos pontos de acesso com taxas de débito de dados mais altas possíveis para maximizar o rendimento do aplicativo. Isto melhora a capacidade global da rede, reduzindo a utilização de tempo de antena de cada utilizador, dado que o tempo de antena é compartilhado entre todos os utilizadores que operam no mesmo canal.

Portanto, as redes de alta densidade devem ser dimensionadas para assegurar que os clientes tenham sempre um sinal forte entre dois AP's em canais que não se sobrepõem (para utilização de roaming), com um SNR alto e que sejam capazes de manter as altas taxas de transmissão de dados.

Isto reduz o tamanho das células Wi-Fi dos AP's individuais. À medida que um cliente se afaste do AP, o sinal vai diminuir, para no limiar de, por exemplo, -67 dBm e eles deverão ser capazes de descobrir e alternar para um AP alternativo que pode continuar a proporcionar um sinal forte ao cliente. Neste caso é projetada uma rede em que é definido

cerca de -67dBm como limiar para a transição de *roaming* (Figura 2.5). Isso reduz efetivamente o tamanho das células e a distância entre AP's. Os pontos de acesso estarão localizados mais próximos entre eles num planejamento de redes Wi-Fi orientado para a capacidade [7].

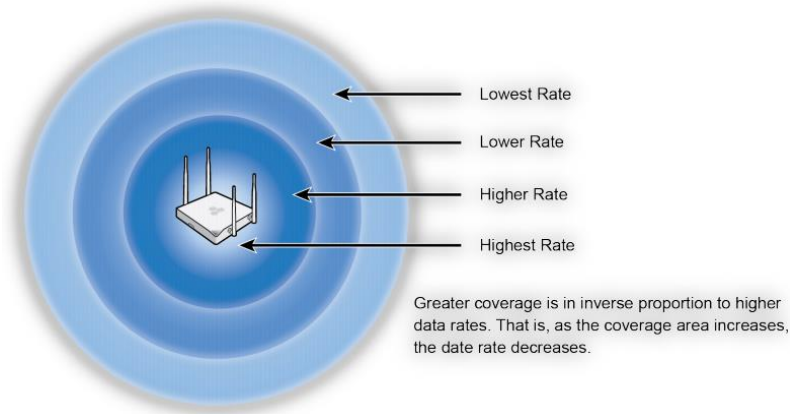


Figura 2.5- Relação velocidade de transmissão e cobertura (retirado de [7])

Em redes Wi-Fi alta densidade, onde a quantidade de dispositivos cliente é significativa, terá que ser analisada, a degradação da relação de sinal/ruído (SNR), principalmente causada através da interferência co-canal impulsionado pelos dispositivos co-localizados. Maximizando a reutilização espacial dos canais pode não ser suficiente para eliminar inteiramente a interferência em ambientes altamente densos [2].

2.3. Interferência co-canal

A interferência co-canal é tipicamente a causa mais significativamente influente de um desempenho e uma capacidade limitada numa rede Wi-Fi [7].

A tecnologia IEEE 802.11b/g funciona na banda de 2,4 GHz, fornecendo, na Europa, um conjunto de 13 canais [6]. Destes 13 canais apenas três não se sobrepõem em banda, os canais 1, 6 e 11. Isto significa que um ponto de acesso (AP) de um canal não sobreposto não será capaz de "ver" o outro AP num diferente canal sem sobreposição, embora os dois AP's estejam a cobrir precisamente a mesma área. Os AP's não interferem uns com os outros, isto é, não há interferência de co-canal [3]. A sobreposição de células de cobertura com a mesma frequência é conhecida como interferência co-canal (Figura 2.6), o que provoca uma degradação severa no desempenho e rendimento da infraestrutura.

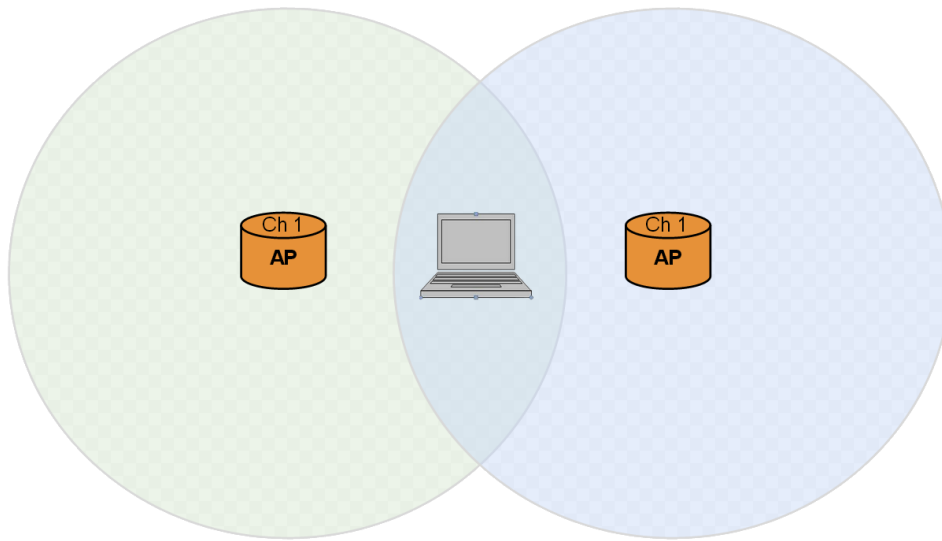


Figura 2.6 - Interferência co-canal: AP's

As células com frequências sobrepostas vão provocar dados corrompidos e aumentar as retransmissões, pesando significativamente no rendimento da ligação sem fios. No planeamento de uma rede sem fios é necessário atribuir células de cobertura sobrepostas no entanto, as células que se sobrepõem não devem ter frequências sobrepostas, utilizando apenas os canais 1, 6 e 11 (Figura 2.7) [6].

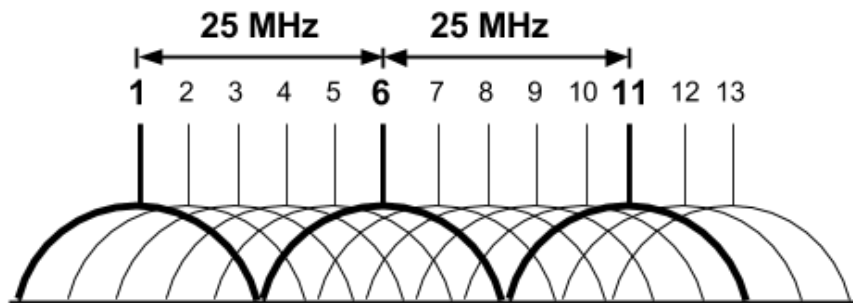


Figura 2.7 - Canais 2,4 GHz

Assim é necessário definir os padrões de reutilização de canais que são utilizados para evitar a interferência co-canal. Na Figura 2.8 é retratado um exemplo de padrão células de cobertura recorrendo à reutilização de canais, em que se evita utilizar células adjacentes com o mesmo canal [6].

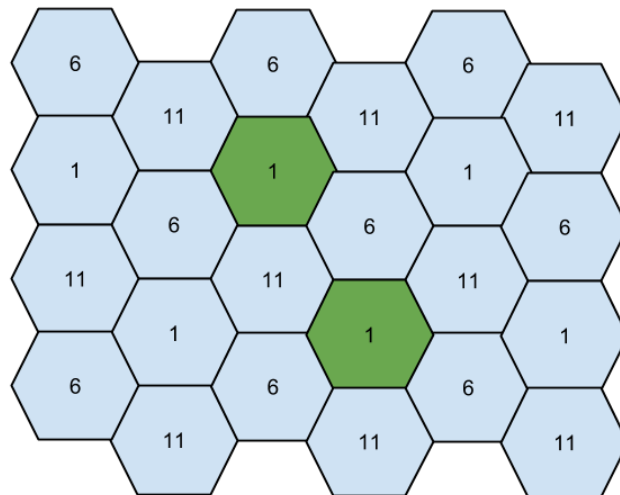


Figura 2.8 - Reutilização de canais em 2.4GHz

Se os pontos de acesso forem instalados em vários andares no mesmo prédio será necessário um padrão de reutilização tal como o mostrado na Figura 2.9.

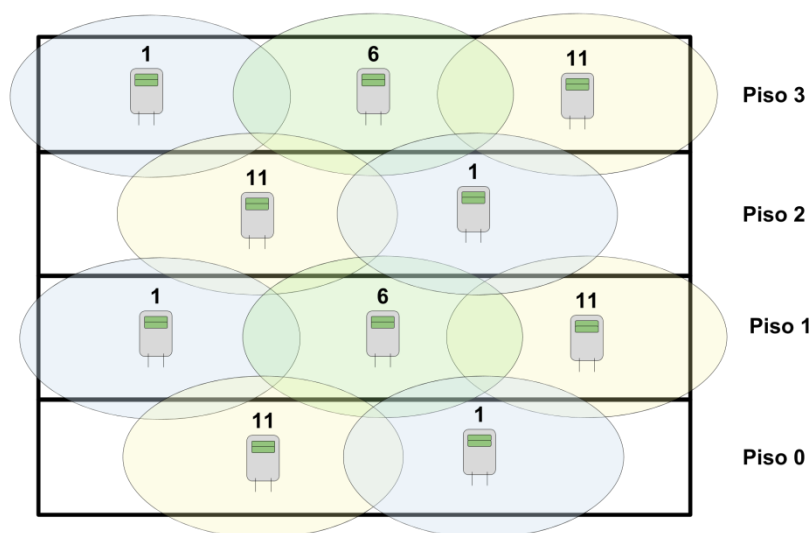


Figura 2.9 - Reutilização de canais em edifícios com pisos

O “levantamento” do local deve ser realizado em todos os pisos e os pontos de acesso precisam frequentemente de ser escalonados para permitir uma reutilização de canais tridimensional [6].

2.4. Critérios de Melhoramento da rede Wi-Fi

Numa primeira aproximação, o planeamento de uma infraestrutura de rede sem fios passa por oferecer uma cobertura de sinal suficiente na área pretendida. Devido ao número reduzido de canais não sobrepostos, o problema da interferência de co-canal tem um grande impacto no desempenho da rede, e portanto, deve ser considerada. A base para a

otimização da rede será a seleção resultante de um compromisso entre a potência recebida e o mínimo de interferência. A informação mais importante nesta otimização é a posição dos possíveis sítios para a localização das antenas. Procura-se conseguir uma distribuição de carga dos utilizadores o mais balanceada possível por todos os pontos de acesso e, desta forma, conseguir aumentar significativamente a performance da estrutura da rede sem fios. Para cada um das possíveis localizações, é analisado a predição da propagação da potência recebida.

Como é difícil prever a quantidade de tráfego esperada para cada localização do cenário, a exigência para a capacidade pode ser auxiliada por um mapa de prioridades, onde na planta se define quais as áreas são abrangidas por uma necessidade de tráfego maior, indicando um nível de prioridade. Assim, na colocação dos transmissores procura-se reforçar estas áreas de prioridade maior, com um maior número de pontos de acesso, de modo a conseguir cobrir estas áreas com uma taxa de transmissão superior às áreas com menor prioridade. Assim, tipicamente deve-se colocar AP's nas áreas onde se prevêem existir maior densidade de utilizadores, como por exemplo, salas de conferências, e menos AP's nas áreas comuns, com menos cobertura.

Quanto maior for o nível de sinal recebido e melhor o SNR, maior será a taxa de débito. Assim podemos afirmar, como sendo resultado satisfatório, quando as áreas de maior prioridade não são afetados por problemas de interferência e nas áreas de menor prioridade alguma interferência pode ser tolerada [8]. É necessário, para cada área, definir os parâmetros de mínima potencia recebida e a interferência de canal que se pretende atingir [9]. O planeamento de uma infraestrutura de rede local sem fios para grandes áreas requer a consideração de aspetos como a cobertura, o tráfego, a interferência e minimização de custos. Portanto, é uma tarefa difícil. É baseada na predição da potência mínima recebida tendo em consideração as condições de propagação com maior impacto no desempenho da rede. A otimização é aplicada a um conjunto de possíveis localizações para a instalação de cada um dos pontos de acesso. O conjunto de parâmetros é aliado a uma seleção mínima de sítios (localizações), de modo a atender os requisitos da rede tendo em consideração as várias áreas com as diferentes prioridades. A otimização não irá apenas ter em conta a cobertura e a capacidade necessária, mas também a situação da interferência. O aumento da interferência de co-canal pode ser minimizado através de uma atribuição adequada das frequências portadoras disponíveis. Para reduzir a interferência co-canal, as células devem estar fisicamente separadas por uma distância mínima para disponibilizar o isolamento suficiente devido à propagação [10].

Como apenas existem disponíveis três canais não sobrepostos, a interferência pode ser reduzida de uma forma compensada, diminuindo a potência do transmissor [8].

Num ambiente com densidade de utilizadores elevada, o número de clientes por AP também vai ser elevado e assim produzir um grande impacto no desempenho global. Idealmente os utilizadores deveriam estar o mais espalhado possível, pelos vários AP's.

Portanto, o cliente deveria, preferencialmente ter sempre visível pelo menos 2 AP's, com nível de sinal satisfatório [11].

Pode-se ainda planejar a utilização do processo de ativação e desativação de taxas de velocidade. Quando a cobertura da rede é suficiente, é muitas vezes boa ideia ir desativando as velocidades de transferência dos dados mais baixos. Os sinalizadores dos protocolos utilizados normalmente são enviados na taxa mais baixa disponível, tipicamente 1Mbps, que atrasa a velocidade do sistema [8].

Uma estrutura que esteja a funcionar num modo misto tanto com 802.11b tanto com o 802.11g terá resultados de tráfego com taxas de transferência de pouco menos do dobro das apresentadas pela 802.11b sozinha, isto é, metade da apresentada da 802.11g sozinha. Isto faz parte de todo um mecanismo que permite os protocolos velhos e novos de coexistir, mas devido a cabeçalhos adicionais no canal, reduz a eficiência global do sistema. O 802.11b não foi concebido para “falar” com 802.11g e portanto para evitar colisões os dispositivos 802.11b são informados que o canal está a ser necessário por um equipamento 802.11g por um certo período de tempo. Num ambiente de alta densidade de utilizadores qualquer variável deve ser aproveitada para melhorar a eficiência e alcançar o objetivo do máximo desempenho do sistema [8]. As redes de alta densidade devem ser projetadas para assegurar que os clientes tenham sempre um sinal forte entre dois AP's em canais que não se sobrepõem (para utilização de roaming), com um SNR alto e que sejam capazes de manter as altas taxas de transmissão de dados.

3. Familiarização com ferramenta de planejamento

3.1. Winprop

O *Winprop* é o principal produto da *AWE communications* e pode ser considerado um pacote de *software* com vários módulos disponíveis.

O pacote de *software Winprop* da *AWE* fornece modelos de propagação precisos com curtos tempos de computação para cenários urbanos, rurais, interiores e túneis. Suporta diversos transmissores incluindo *sites*, *broadcasting*, satélites, repetidores e fugas de cablagem. Esta ferramenta é composta por vários módulos dos quais foram utilizados principalmente dois, o *Wallman* e o *Proman* [12].

3.2. O módulo Wallman

O *Wallman* pertence ao *software* completo de planejamento de redes sem fios denominado de *Winprop*. Todos os cálculos realizados pelo *Winprop* relativamente aos modelos de propagação de ondas, seja em cenários urbanos, seja em cenários interiores, baseiam se em bases de dados (*Databases*). Isso aplica-se tanto na descrição de um cenário de apenas um edifício (*database* interior), como em toda uma área urbana (*database* urbana).

O *Wallman* apresenta todo um interface gráfico que permite convenientemente editar estes dois tipos base de dados (*Databases*).

O *Wallman* oferece a possibilidade de converter vários formatos existentes de dados para o formato de base de dados *Winprop*, tanto nas bases de dados urbanas, como nas bases de dados interiores, como por exemplo do formato de *Autocad* [13].

3.2.1. Base de dados urbana

As bases de dados que descrevem uma área urbana contêm informação sobre cada um dos edifícios. Cada edifício é descrito por um cilindro poligonal, com uma determinada altura. Portanto o elemento básico é um cilindro poligonal e que é constituído por vários objetos planares. Apenas é definido e usado o teto do cilindro. Todas as paredes são geradas durante a análise da propagação e apenas quando são necessárias.

Esta altura do edifício é uma altura uniforme, relativamente ao nível do solo. Portanto, os cantos da forma polígona são bidimensionais. Os edifícios são definidos por cilindros poligonais, isto é, edifícios têm uma forma arbitrária e cada edifício tem uma altura uniformemente definida em que todos os topos dos edifícios são planos, portanto, apenas

as paredes verticais são válidas e todo o edifício é definido por um mesmo material. O valor da altura dos edifícios pode ser relativa ao solo ou absoluta em relação ao nível do mar e nestes casos os valores de posição do solo podem ser definidos através de uma base de dados de topografia adicional (Figura 3.1).

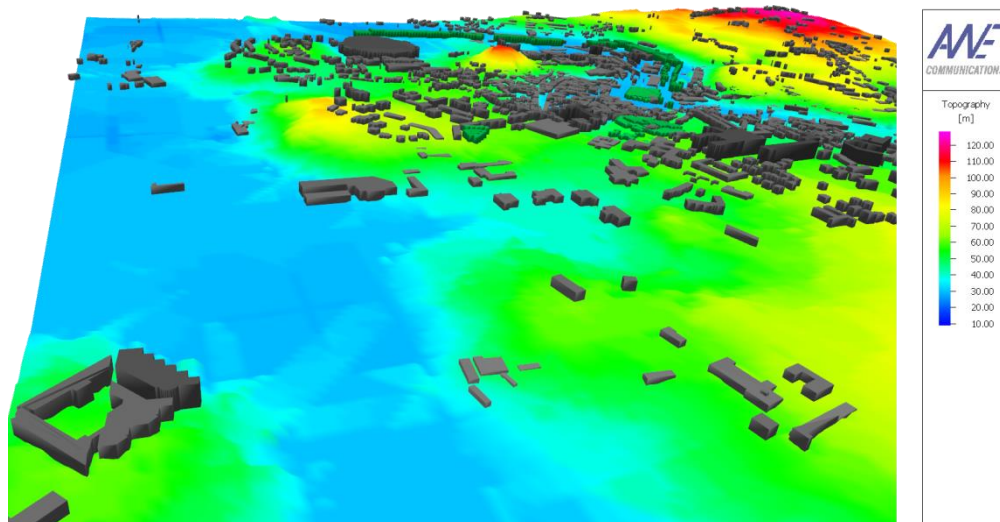


Figura 3.1 – Base de dados urbana da cidade de Leiria com topografia

Assim, poderá ser importante ter em conta a topografia do ambiente urbano. Para tal existem as bases de dados topográficos que em conjunto com a base de dados teremos um cenário mais detalhado. As bases de dados topográficas são baseadas em matrizes de *pixels* e utilizam o sistema de coordenadas UTM. Cada *pixel* define um valor de altura topográfica para uma determinada localização. Poderão ser convertidas vários formatos existentes para o formato topográficos *Winprop*. Um ficheiro topográfico em formato CAD não permite a conversão para o formato topográfico do *Winprop*.

3.2.2. Base de dados interior

As bases de dados interiores são bases de dados de vetor que descrevem as estruturas dos edifícios e consistem em segmentos de parede, cada uma representada por coordenadas tridimensionais, que correspondem aos seus cantos. Cada segmento de parede contém informação sobre o tipo de material de que é constituída. Para criar um simples edifício de quatro paredes e um telhado, são necessários cinco objetos e cada objeto tem quatro cantos (Figura 3.2). Assim as bases de dados interiores estão limitadas a áreas mais pequenas e com menos objetos, embora o cenário possa ser o mais arbitrário possível, desde um simples quarto até a um pequeno *Campus*.

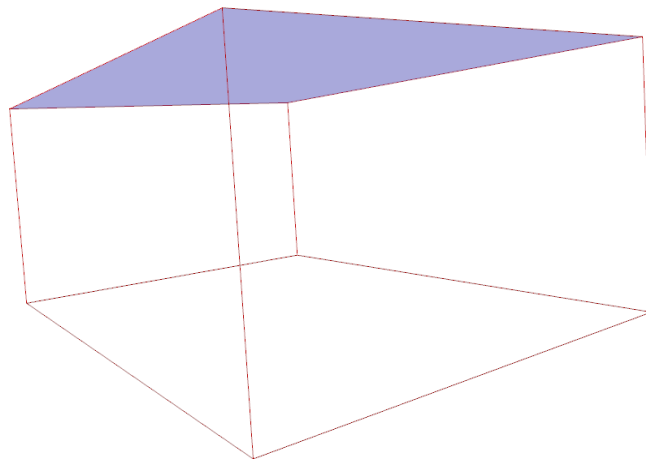


Figura 3.2 – Edifício de 4 paredes e 1 telhado (5 objetos)

As bases de dados interiores permitem a descrição de cada um dos objetos do edifício. Para limitar a complexidade do ficheiro e do formato dos dados, o *Winprop* suporta apenas objetos planares que são denominados de paredes (*walls*), embora que obviamente os objetos não estão limitados a paredes. Os elementos podem ter vários cantos. Os objetos arredondados podem ser aproximados por vários objetos planares. Por exemplo, um círculo pode ser substituído por seis objetos planares formando um hexágono (Figura 3.3). Quanto mais objetos (objetos planares) forem usados, melhor é a aproximação do círculo, mas também maior vai ser o tempo de computação durante a análise da propagação [13].

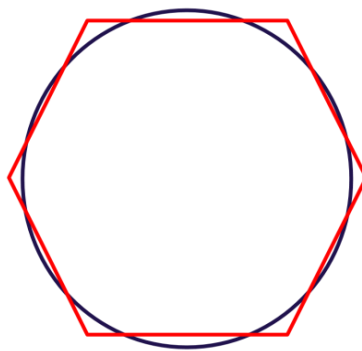


Figura 3.3 - Aproximação para os objetos arredondados

Nestas bases de dados de cenário interior, muito facilmente existem paredes com vários sectores. Facilmente uma parede contém uma porta ou uma janela ou mesmo um buraco, que são constituídos por materiais diferentes da parede em si. Se estes elementos fossem considerados como uma outra parede, iria aumentar significativamente o tempo de computação. Para evitar esta situação, o *Wallman* permite criar subdivisões nas paredes.

Normalmente uma subdivisão (Figura 3.4) comporta-se como qualquer outra parede, exceto do facto de esta subdivisão estar atribuída a uma determinada parede e assim não pode estar localizada fora dessa parede. A subdivisão pode ser movida ou redimensionada mas sempre dentro da mesma parede e como qualquer outra parede as suas propriedades

também são definidas de uma forma independente das propriedades da parede atribuída. Uma subdivisão que seja considerada como um buraco não tem propriedades de material atribuído [13].

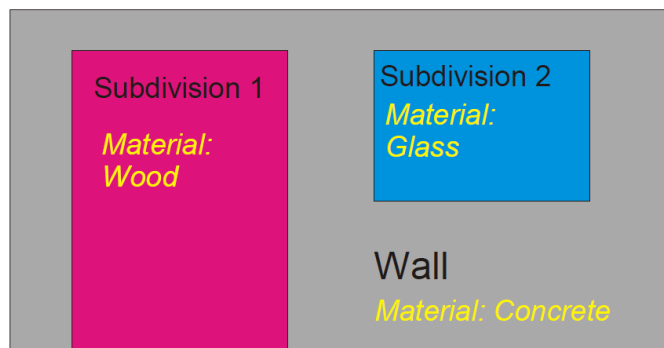


Figura 3.4 - Exemplo subdivisão (retirado de [13])

O *Wallman* oferece várias formas de criar uma base de dados interior. Normalmente a forma mais conveniente é realizar uma conversão a partir de um ficheiro CAD. Se tal não for possível, poderá ser criado através de uma imagem de uma planta do piso ou desenhando manualmente com o auxílio de uma imagem de fundo [13].

3.2.3. Base de dados híbrida (*Urban/Indoor* (CNP))

O *Winprop* oferece uma forma de modelar a cobertura de rede de um ambiente urbano, mesmo quando os transmissores possam estar localizados dentro de um edifício, mantendo o seu elevado grau de detalhe. As bases de dados interiores, com o seu elevado grau de detalhe, podem ser importadas para uma base de dados urbana. Nesta situação temos uma base de dados híbrida.

Para criar esta base de dados híbrida (CNP), iniciamos o processo no modo urbano. No modo urbano, o *Wallman* consegue importar um edifício originário de uma base de dados interior, tornando-o parte do cenário urbano (Figura 3.5).

Para tal é necessário escolher o comando “import indoor *database*” do menu “objects”. Escolhe-se o nome do ficheiro e depois temos forma do edifício que poderá ser colocado no sítio desejado dentro da base de dados urbana [13].

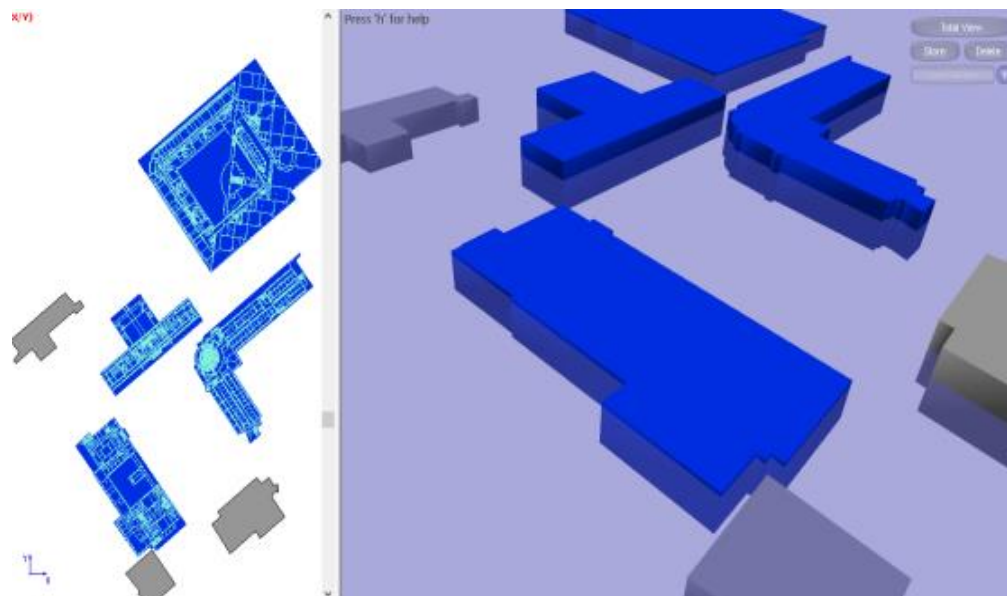


Figura 3.5 - Cenário urbano com a importação de cenários interiores

3.2.4. Propriedades de material para os objetos da base de dados

As propriedades dos diferentes materiais têm uma influência significativa para os resultados dos modelos de propagação de ondas. É importante que se atribua propriedades de material para cada um dos objetos. Nas bases de dados urbanas os objetos são os edifícios e nas bases de dados interiores os objetos são as paredes e as divisões. Portanto, a importância da atribuição dos diferentes materiais ainda se torna mais importante nos cenários interiores dado o detalhe desta, enquanto que nas bases de dados urbanas o material por omissão é o que é habitualmente utilizado, normalmente devido à falta de informação relativamente aos materiais individuais dos edifícios. Para lidar com toda a informação de todos os diferentes materiais utilizados, estas estão organizadas no chamado catálogo de materiais (Figura 3.6) [13].

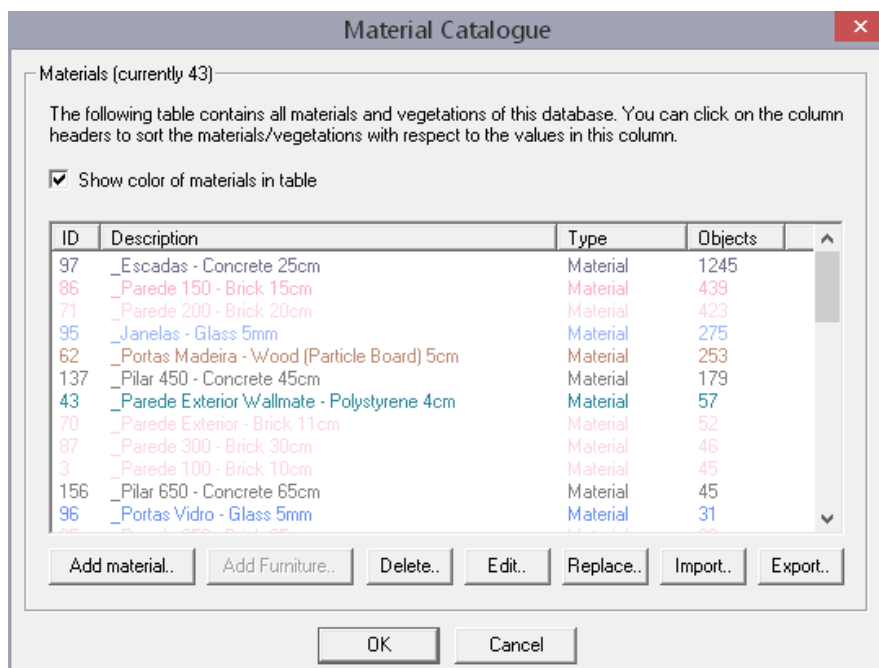


Figura 3.6 – Catálogo de Materiais

As propriedades de material poderão ser criadas de raiz, ou poderão ser importadas utilizando um botão “import”, que mesmo assim podem ser editadas e duplicadas posteriormente.

As propriedades elétricas dos materiais dependem da frequência. Por isso, podem ser definidos valores individuais de propriedades elétricas para as diferentes frequências utilizadas no projeto. A AWE disponibiliza um catálogo global de materiais (Global Material Catalogue). Deste catálogo podem ser importados alguns dos materiais mais comuns para diferentes espessuras. Estas podem ser posteriormente alteradas em função das nossas necessidades. É importante referir que o *Proman* considera automaticamente as frequências mais próximas das que estão definidas nas propriedades elétricas [13].

3.3. O módulo *Proman*

O *Proman* é um módulo pertencente ao pacote de *software Winprop*. O *Proman* permite criar uma simulação de propagação e de análise de rede das redes móveis nos cenários em estudo, utilizando modelos de propagação conhecidos.

O *Proman* foi concebido para, num sistema de comunicação móvel, prever a “perda de caminho” (*path loss*) entre o transmissor e o recetor, incluindo todos parâmetros importantes do canal. Estão disponíveis modelos de propagação para cenários urbanos e interiores, assim como o modelo em modo CNP para cenários híbridos. É necessário utilizar modelos de propagação para determinar as características de propagação e de rede.

O desempenho das redes de comunicação sem fios depende de uma arquitetura de rede eficiente. A cobertura é condicionada pelo nível de sinal e pelo nível de interferência. As redes de comunicação sem fios necessitam de um planeamento para realizar uma boa gestão de reutilização de frequências. Para serviços de alta taxa de débito é necessário grandes exigências da relação Sinal/Ruído em cada ponto de receção. Esta análise de rede é importante na análise do desempenho global da rede sem fios. Esta simulação individual permite realizar uma predição da potência recebida, do SNIR, da potência mínima necessária (DL/UL), das áreas de cada célula (melhor célula) e das taxas de débito máximas, para cada um dos modos de transmissão (modulação e esquema de codificação).

Podem ser considerados transmissores terrestres assim como transmissores de satélite. O *Proman* também oferece módulos de planeamento de rede para LTE, 3G (UMTS/HSPA e CDMA 2000), 2G/2.5G (GSM, GPRS, EDGE), Tetra, WiMAX e *Wireless LAN*, MIMO e DAS são suportados nas extensões configuráveis dos interfaces aéreos.

O *Proman* foi concebido não apenas para analisar a propagação de ondas eletromagnéticas em diversos tipos de ambientes mas também juntamente simular o planeamento de redes celulares. Todos os elementos da simulação (propriedades dos transmissores, bases de dados, padrões de antena) são guardados num projeto, e podem ser computados no *Proman*.

Para realizar uma simulação do desempenho global da rede, tem que ser especificada no projeto, qual a “interface aérea” pretendida. Deste modo são atribuídas várias variáveis, como as taxas de débitos da rede, a largura de banda, as previsões para ligação, as sensibilidades das estações de base e as potências máximas para os dispositivos móveis. A AWE disponibiliza vários tipos de interfaces aéreas pré-definidas para utilizar no *Proman*. É necessário definir os transmissores (estações base), tanto na sua localização, como o padrão das antenas utilizadas e as capacidades de transmissão da simulação. As aplicações de simulação são focadas especialmente em zonas urbanas e zonas “indoor” (interiores).

Para a criação de um projeto, é necessário também informação relativa às antenas a utilizar, que AWE disponibiliza, embora sejam configuráveis. Os resultados das simulações estão dependentes do tipo de tecnologia a utilizar [12].

Na perspetiva de simulação os resultados provenientes das simulações são essencialmente relacionados com dois conceitos. A área de cobertura, que é a área onde se consegue estabelecer ligação para a comunicação sem fios e a área de capacidade que é o máximo de tráfego suportado pela rede. O objetivo pelo qual se direciona a implementação do sistema de simulação são a verificação da rápida predição da cobertura de rede e da capacidade, do aumento do SNIR, a avaliação da potência média da célula e a determinação da capacidade máxima da rede [14].

Estão disponíveis modelos de propagação para cenários urbanas e interiores, assim como para o modelo em modo CNP para cenários híbridos. É necessário utilizar modelos de propagação para determinar as características de propagação e de rede.

3.4. Modelos de propagação utilizados

O modelo de propagação utilizado para a simulação do cenário urbano foi o UDP (*Urban Dominant Path Prediction Model*). O modelo UDP é a versão para aplicação urbana do modelo base DPM (*Dominant Path Prediction Model*). Este modelo de propagação rádio baseia-se na determinação de percursos dominantes. O modelo *Dominant Path model* mostra uma clara vantagem em termos de robustez *versus* precisão. Este modelo possibilita a redução dos tempos de cálculo, sem perder significativamente a precisão. É baseado no facto que nem todos os potenciais caminhos entre o transmissor e o recetor contribuem significativamente em termos de potência total recebida. De facto só mesmo alguns caminhos de propagação são dominantes no sentido de contributo de potência. Apenas utilizando os caminhos dominantes, consegue-se reduzir significativamente os tempos de computação, apenas reduzindo ligeiramente a precisão. Isto faz com que este modelo, ao desprezar as ondas rádio que não são significativas para o total de sinal recebido, acumule menos incoerências na base de dados dos edifícios, apresentando-se então bastante robusto [15]. O modelo empírico (Empirical model) utiliza o caminho direto (Figura 3.7 Esq.) enquanto o modelo de previsão de caminho dominante (DPM) utiliza o caminho mais relevante (Figura 3.7 Dir.) [16].

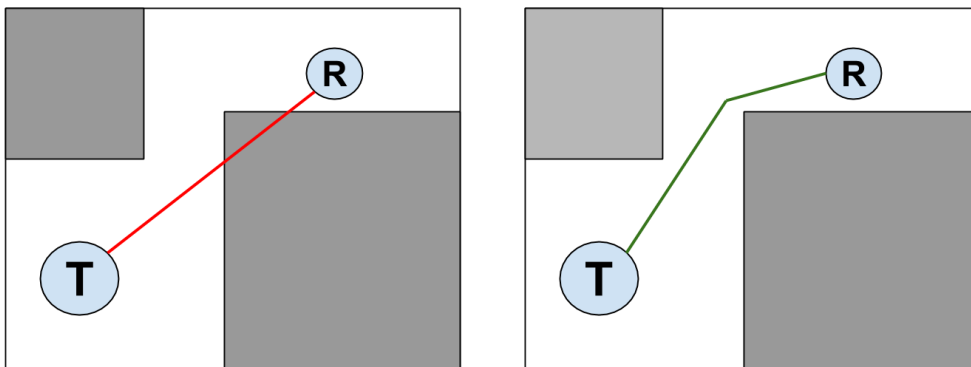


Figura 3.7 - Modelo Empírico (esq.) e o modelo DPM (dir.)

O algoritmo pode ser subdividido em 2 passos. Primeiro a determinação dos caminhos dominantes (geometria) e depois prever as perdas de caminho ao longo desses caminhos. As perdas de caminho são calculadas através da seguinte equação [16]:

$$L = 20 \log\left(\frac{4\pi}{\lambda}\right) + 10p \log(l) + \sum_{i=1}^n f(\varphi, i) + \sum_{j=1}^m t_j - \Omega,$$

em que L é a perda de caminho em dB para um caminho de comprimento l (em metros). λ é o comprimento de onda e Ω é o factor de orientação de onda (Waveguiding factor). $f(\varphi, i)$ é a função que determina a perda de alteração da direção em dB (perda de interação) e φ corresponde ao ângulo entre a direção de propagação anterior e a nova direção. O número de interações é dado pelo valor de i . O fator p depende da visibilidade entre o pixel em cálculo e o transmissor. Para a determinação de perdas de caminho em

cenários interiores, as transmissões que atravessam paredes terão que ser consideradas. O t_j significa a perda de transmissão da parede j [16].

Sendo o nosso cenário de aplicação um cenário híbrido (cenário urbano+ cenário interior), é utilizado o UDP vertente híbrida (Modo CNP), que é uma combinação adaptativa que envolve a previsão da propagação na transição urbano/interior e interior/urbano. O modo CNP realiza uma combinação de predição urbana e predição interior. O modo CNP determina automaticamente as configurações e resolução da área urbana, a melhor resolução para a matriz de previsão, utilizando uma resolução maior nas áreas interiores e uma resolução menor nas regiões urbanas. Assim a resolução é automaticamente adaptada para as necessidades urbanas e interiores. Na área urbana a predição é computada com o UDP, baseando-se nos parâmetros e algoritmos dos cenários urbanos. Nas áreas interiores é utilizado o *Indoor Path Model* (IDP), versão para aplicação interior do modelo base DPM, utilizando uma maior resolução. Assim a resolução e as propriedades do modelo são automaticamente adaptados às exigências urbanas ou interiores. Os parâmetros deste modelo de propagação, como perdas de caminho e perdas de interação, também são adaptativos para cada uma das situações. Na aplicação interior deste modelo de propagação, os efeitos criados em corredores e em escadas são considerados. Esta resolução adaptativa garante a melhor resolução para cada um dos ambientes. Na simulação dos cenários híbridos, o planejamento de rede realiza uma transição suave entre o interior e o urbano. Os efeitos produzidos da propagação na transição urbana/interior são importantes para a penetração dos edifícios, e a análise da interferência entre os transmissores interiores e os transmissores exteriores [16].

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

4. Análise do cenário de estudo e levantamento da rede Wi-Fi existente

O *Campus 2* do IPEiria é um dos espaços escolares pertencentes ao Instituto Politécnico de Leiria. Tem uma área de cerca de 350 m². É composto principalmente pelos Edifícios A a D.

O estudo neste projeto vai incidir detalhadamente nestes 4 edifícios, que são os edifícios onde decorrem maioritariamente todas as aulas da escola ESTG, assim como áreas de alimentação, áreas de lazer, escritórios e gabinetes. Para além destes edifícios referidos existe ainda a biblioteca, um pavilhão de mecânica e um outro refeitório, que estarão incluídos no projeto, mas sem ter em consideração os seus detalhes individuais.

Analisando o *Campus 2* em termos de desnível topográfico, não existe uma variação significativa, isto é, o desnível topográfico da área não é maior do que 5m, o que, em termos de planeamento não é significativo [17].

A área exterior correspondente ao espaço entre edifícios é composta essencialmente por estrada e estacionamentos, ambos com piso de alcatrão (Figura 4.1).



Figura 4.1 - *Campus 2* IPEiria – ESTG (retirado de [18])

4.1. Características dos edifícios

Foram facultadas as plantas dos edifícios em estudo, A, B, C e D em formato *Autocad*. O edifício A não seria necessário, dado que este edifício já tinha sido anteriormente criado, num projeto anterior, e é reaproveitado para utilização neste projeto. Assim, o foco do trabalho é definido inicialmente para os edifícios B a D.

Para completar a informação do *Autocad* foram feitas algumas medidas no local, necessárias para o processo de criação das bases de dados, bem como reuniões com a direção de serviços técnicos e com a direção dos serviços informáticos.

4.2. Edifício B



Figura 4.2 - Edifício B

O edifício B é constituído por 3 pisos (Figura 4.2). É, maioritariamente, de utilização administrativa e adicionalmente tem algumas salas de conferência no piso 0. Os pisos são o piso 0, piso 1 e o piso 2. Na Tabela 4.1 estão as informações relativas às alturas do teto e do teto falso para 3 pisos:

Altura	Medida (m)
Piso 0 (Contém Inclinação)	Desde 4,75 a 5,5
Teto falso do piso 0	5
Piso 1	4
Teto falso do piso 1	2,92
Piso 2	4
Teto falso do piso 2	3,3
Meia parede do piso 1	2,2
Janelas do Piso 2	1,04
Varanda Exterior	5,5

Tabela 4.1 - Algumas características do edifício B

4.3. Edifício C



Figura 4.3 - Algumas características do Edifício C

O edifício C é um edifício dividido em duas metades distintas. A primeira metade corresponde maioritariamente a um refeitório de 2 andares mais uma creche no último piso. A outra metade corresponde a um conjunto de várias salas de serviço, incluindo serviços tecnológicos, que apenas tem 2 pisos, o piso 0 e o piso 1 (Figura 4.3). Na tabela seguinte estão as informações necessárias para os 3 pisos:

Altura	Medida (m)
Piso 0	3,734
Teto falso do piso 0	3,60
Piso 1	3,76
Teto falso do piso 1	2,94
Piso 2	3,517
Teto falso do piso 2	3,2
Janelas no piso 0	2,25
Janelas no piso 1	1,294

Tabela 4.2 - Algumas características do edifício C

4.4. Edifício D



Figura 4.4 - Algumas características do Edifício D

O edifício D é um edifício em forma de “L”, constituído por 4 pisos mais uma cave, cave esta que é considerada como piso -2, mas que não tem qualquer dispositivo pertencente à rede sem fios. Os restantes pisos são relativamente similares entre eles, e são denominados de Piso -1, Piso 0, Piso 1 e Piso 2. Este edifício funciona maioritariamente como salas de aulas e salas de laboratório. Também contém anfiteatros no piso 0 e 1 e gabinetes no último piso (piso 2).

Altura	Medida (m)
Piso -1	4
Teto falso do piso -1	2,57
Piso 0	4
Teto falso do piso 0	2,60
Piso 1	4
Teto falso do piso 1	2,60
Piso 2	4,105
Teto falso do piso 2	2,62
Piso 3	2,895
Teto falso do piso 3	2,41

Tabela 4.3 - Algumas características do edifício D

4.5. Materiais constituintes dos edifícios

A única informação disponível para consulta acerca das características dos edifícios do *Campus*, são as plantas de *Autocad* disponibilizadas. Servindo como base a informação das plantas disponibilizadas, as paredes exteriores dos edifícios são maioritariamente constituídas por paredes de espessura 30 cm. Sem forma de saber ao certo, como foram construídas as paredes dos edifícios, vamos realizar algumas suposições baseadas nos processos habituais para a construção deste tipo de edifícios [19].

Pressupõe-se que estas paredes têm uma caixa-de-ar com material de isolamento *wallmate* [19]. Assim, na nossa implementação *Wallman* vamos tentar impor uma construção mais próxima da realidade. Tal passa por considerar as paredes exteriores dos edifícios como camadas, em que a parede exterior total corresponda ao somatório de 3 objetos. O primeiro objeto é o lado da parede mais próxima do interior e é constituído por tijolos de espessura de 11cm. O segundo objeto é constituído pelo *wallmate* com 4cm de espessura. O terceiro objeto é constituído por tijolos de 15cm, que corresponde à face da parede em contacto com o lado exterior.

Para além das paredes exteriores de 30cm, o edifício D também contém paredes exteriores de 35cm. Aliás, neste edifício D, as paredes exteriores do edifício são maioritariamente constituídos por paredes de espessura 35 cm e da mesma forma, vamos considerar que é constituído por 3 elementos. O primeiro elemento é constituído por tijolos de espessura de 11cm. O segundo elemento é constituído por *wallmate* de 4cm de espessura. O terceiro elemento é constituído por tijolos de 20cm, que corresponde à parede em contacto com o exterior, totalizando os três elementos, um total de 35cm.

4.6. Materiais dos edifícios no *Wallman*

As propriedades dos diferentes materiais têm uma influência significativa para os resultados dos modelos de propagação de ondas. É importante que se atribuam propriedades de material para cada um dos objetos. Nas bases de dados urbanas os objetos são os edifícios e nas bases de dados interiores os objetos são as paredes e as divisões. Portanto, a importância da atribuição dos diferentes materiais ainda se torna mais significativa nos cenários interiores dado o detalhe desta, enquanto que, nas bases de dados urbanas o material por omissão é o que é habitualmente utilizado, devido à falta de informação relativamente aos materiais individuais dos edifícios. Para lidar com toda a informação de todos os diferentes materiais utilizados, estas estão organizadas num catálogo de materiais.

O projeto deverá realizar uma simulação o mais próximo possível das frequências que se preveem para utilização. O sistema Wi-Fi irá funcionar na banda de 2400 MHz, logo podemos parametrizar esta frequência de funcionamento nos parâmetros dos materiais do nosso projeto.

Tendo em conta, que num trabalho futuro, se poderá realizar planeamentos LTE nesta base de dados, também vamos configurar as frequências principais de funcionamento especificadas em Portugal para a utilização desta tecnologia, 800Mhz, 1800Mhz, 2600Mhz. Assim para todos os materiais também irão ser parametrizados estas frequências, 800Mhz, 1800Mhz e 2600Mhz. O catálogo Global de materiais, por omissão, não prevê todas estas frequências desejadas e portanto os valores ainda em falta foram obtidos/calculados a partir de um documento “excel” também disponibilizado pela AWE, que contém as fórmulas utilizadas no cálculo das propriedades elétricas para alguns tipos de material. Estas fórmulas foram reaproveitadas para obtermos os valores de parametrização desejados nos materiais utilizados no projeto.

Para a configuração desses valores nas propriedades elétricas de cada um dos materiais no *Wallman*, para além das frequências de serviço, vamos ter em conta a espessura de cada um dos elementos (paredes). Por exemplo, iremos ter o material tijolo 10cm, tijolo 20cm e tijolo 30cm, que mesmo sendo do mesmo tipo de material, tem espessuras diferentes, logo valores de propriedades elétricas também diferentes. Para todos os materiais e todas as espessuras, vamos configurar todas as propriedades elétricas de modo a termos os parâmetros para 450Mhz, 800Mhz, 1500Mhz, 1800Mhz, 2400Mhz, 2600Mhz, 3500Mhz, 5350Mhz.

Assim, foi construída uma tabela “excel” final, com novos valores, para todos os materiais utilizados, especificamente para o projeto de cenário do *Campus 2* do IPLeiria. Esta tabela adaptada utilizada neste projeto encontra-se no anexo A. Na Tabela 4.4 é apresentada uma pequena amostra dessa tabela “excel”. Estes novos valores de parametrização foram todos inseridos no projeto de cada um dos edifícios.

Material	Thickness [m]	Frequency [MHz]	Reflection Loss [dB]	Transmission Loss [dB]	ϵ_r'	ϵ_r''	Conductivity [S/m]
Betão							
Concrete	0,02	450	7,51	1,93	6	0,7	0,0175
	0,02	800	7,51	2,11	6	0,7	0,0311
	0,02	1500	7,51	2,47	6	0,7	0,0583
	0,02	1800	7,51	2,63	6	0,7	0,0700
	0,02	2400	7,51	2,94	6	0,7	0,0933
	0,02	3500	7,51	3,51	6	0,7	0,1361
	0,02	5320	7,51	4,46	6	0,7	0,2069

Tabela 4.4 - Pequena amostra da tabela “excel” com as propriedades elétricas dos materiais

4.7. Rede Wi-Fi existente

A rede Wi-Fi existente é constituída por AP's da marca "Cisco". Estes equipamentos estão distribuídos pelos vários edifícios da área escolar. No exterior dos edifícios não existem transmissores, todos os AP's são interiores.

O levantamento da rede sem fios atualmente instalada no *Campus 2* do IPLeiria foi disponibilizado pela escola, através da devida articulação com a Direção de Serviços Informáticos do IPL. Este levantamento, não é mais do que as plantas dos edifícios, com a marcação dos pontos onde estão localizados os AP's (Figura 4.5). No anexo B encontra-se toda esta informação sobre a localização dos AP's que nos foi disponibilizada, juntamente com uma lista complementar indicando os canais utilizados por cada um dos AP's.

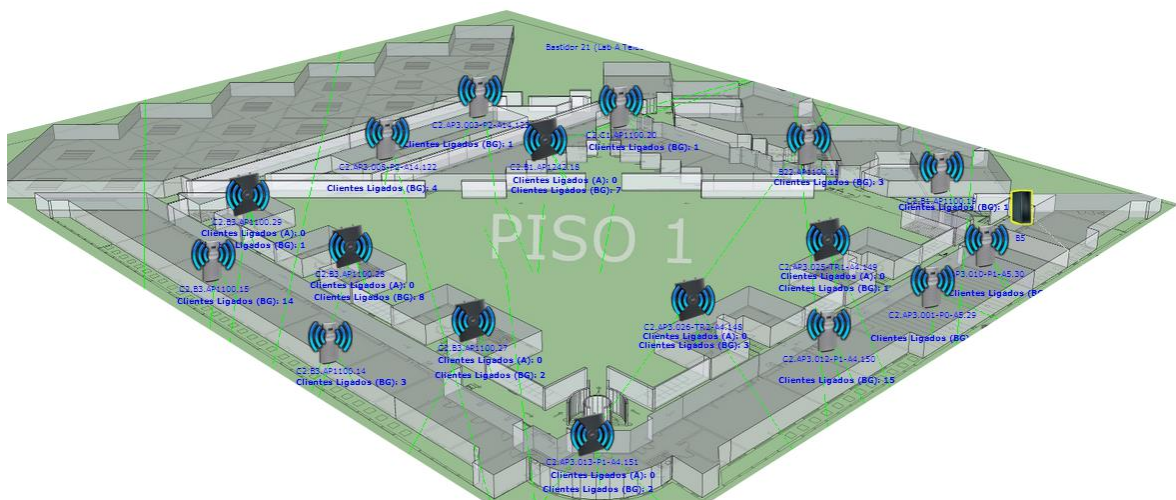


Figura 4.5 - Distribuição dos AP's no Edifício A piso 1

O edifício A é o edifício que contém aplicado um maior número de AP's Isto justifica-se pelo facto de ser um edifício de elevada densidade, dado que contém o bar, contém muitos gabinetes, muitas salas de aulas com uma taxa de utilização elevada, um anfiteatro e também salas de laboratório.

O edifício A está coberto com 29 AP's. O piso 0 tem 7 estações, o piso 1 tem 17 estações e o piso 2 tem 5 estações.

O edifício B é um edifício mais pequeno, com salas administrativas, gabinetes, auditórios e anfiteatro. É um edifício de 3 andares em que em cada andar possui 2 a 3 AP's de serviço (Figura 4.6).

O edifício B está coberto com 9 AP's. O piso 0 tem 4 estações, o piso 1 tem 2 estações e o piso 2 tem 3 estações.

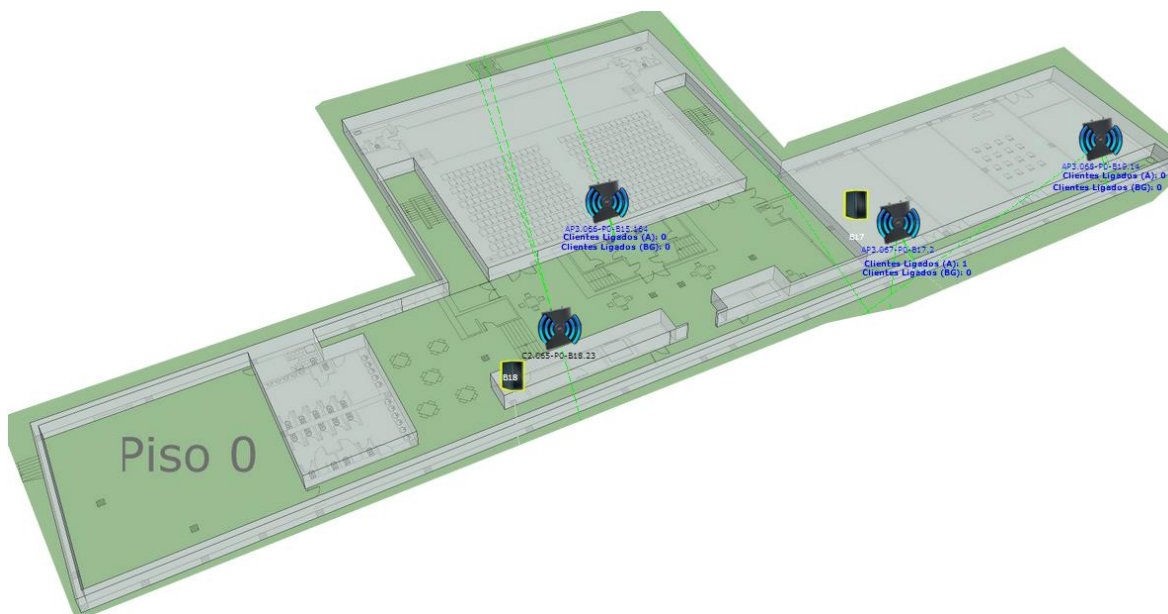


Figura 4.6 - Distribuição de AP's no Edifício B piso 0

O edifício C pode-se dividir em duas partes. A parte do refeitório que apresenta alta densidade nas horas de refeição e a outra parte com vários gabinetes e salas de serviço (Figura 4.7). O edifício C está coberto com um total de 6 AP's, 2 estações no piso 0, 3 no Piso 1 e 1 no Piso 2.



Figura 4.7 - Distribuição de AP's no Edifício C piso 1

O edifício D, em cada um dos 4 pisos, tem distribuído alguns AP's, que estão localizados nos corredores (Figura 4.8). O padrão de distribuição dos AP's é similar entre os 4 pisos, em que apenas no piso 0 apresenta um número inferior de estações em comparação aos restantes pisos. Na zona dos anfiteatros, tem um AP dedicado.

O edifício D está coberto com um total de 17 estações AP's. O piso -1 tem 4 AP's, o Piso 0 tem 2 AP's, o Piso 1 tem 5 AP's e o piso 2 tem 5 AP's.



Figura 4.8 - Distribuição de AP's no Edifício D piso -1

A estrutura de rede existente, a nível de equipamentos emissores (AP's) é constituída por 2 modelos de equipamentos distintos da marca “Cisco”. O “Cisco Aironet 1100 Access Point” e “Cisco Aironet 1240AG Access Point”.

O “Cisco Aironet 1100 Access Point” (Figura 4.9) é um dispositivo que contém uma antena dipolo de 2.2 dBi, integrada ao equipamento. A potência máxima disponível deste equipamento para o 802.11g é de 30mW [20].



Figura 4.9 - Cisco Aironet 1100

Este equipamento tem a possibilidade de se configurar vários níveis de potência de transmissão (Tabela 4.5) [21].

Controller Tx Power Settings	802.11g (mW)
1	30
2	15
3	8
4	4
5	2
6	1

Tabela 4.5 - Níveis de potência do Cisco Aironet 1100

O “Cisco Aironet 1240AG Access Point” (Figura 4.10), é um dispositivo que, ao contrário do Cisco Aironet 1100, não tem uma antena integrada ao equipamento, mas sim utiliza antenas exteriores ao equipamento. No *Campus* estes dispositivos estão ligados com antenas dipolo exteriores de 2.2 dBi.



Figura 4.10 - Cisco Aironet 1240AG

A potência máxima disponível deste equipamento para o 802.11g é de 50mW [22] e pode ser configurado para trabalhar com vários níveis de potência (Tabela 4.6) [21].

Controller Tx Power Settings	802.11g (dBm)
1	17
2	14
3	11
4	8
5	5
6	2
7	-1

Tabela 4.6 - Níveis de potência do Cisco Aironet 1240AG

5. Construção da base de dados do cenário em estudo

O cenário em estudo é o *Campus 2* do Instituto Politécnico de Leiria. O estudo vai incidir nos vários edifícios existentes neste *Campus*, dos quais o edifício A, o edifício B, o edifício C e o edifício D irão ter uma atenção especial, dado que se vai estender o estudo para o seu interior, realizando as simulações para cada um dos seus pisos constituintes. Estas simulações urbanas que se agregam e se estendem para o interior de algum edifício são consideradas simulações híbridas, que englobam simultaneamente a simulação urbana e a simulação interior.

O cenário que se pretende criar é um cenário híbrido (*database* híbrida), que é a base sobre o qual vai incidir todo o planeamento e simulação. Esta base de dados de cenário híbrido permite estudar uma área urbana com edifícios, onde alguns destes edifícios terão um detalhe mais desenvolvido, de modo a compreender a rede sem fios no seu interior, neste caso os edifícios A ao D.

Já existe uma base de dados do edifício A, criada como resultado de projetos anteriores, que é reaproveitada e utilizada neste projeto. Também existe um cenário urbano, já anteriormente construído, da cidade de Leiria, que contém a nossa área de interesse, o *Campus 2* do IPEiria. Assim, vamos construir um cenário híbrido a partir deste cenário urbano já existente e utilizando o edifício A, também já existente.

A base de todo o trabalho é o cenário de estudo, o *Campus 2* do IPEiria. Este cenário, inicialmente é urbano e tornar-se-á híbrido, quando se importarem os cenários interiores. Estes cenários interiores terão que ser criados individualmente. Portanto vamos iniciar o processo de construção com a criação dos cenários (base de dados) interiores que ainda não temos, edifícios B, C e D.

As *databases* (bases de dados) são criadas no módulo *Wallman*. Procura-se como motivação a inclusão de pormenores detalhados sobre os edifícios principais do *Campus 2* tornando-o o mais real possível.

5.1. Adaptação do Autocad para o Wallman

Pretende-se construir as bases de dados interiores em falta, edifício B ao D. Estes são criados de raiz. Para tentar facilitar este processo de construção, tenta-se aproveitar uma funcionalidade que o *Wallman* oferece, a conversão de um ficheiro CAD para o formato *Winprop*.

O objetivo é criar um modelo 3D, que possa representar fielmente os edifícios do *Campus Escolar*. Essa representação fiel terá que ser conseguida através da elaboração cuidadosa de

todos os elementos (objetos) individualmente existentes, de modo a atingir aquilo que se pode definir como um modelo, que convictamente irá produzir resultados de simulação representativos daquilo que poderá acontecer na realidade física. A melhor forma para criação desse modelo 3D, será produzir cada elemento do edifício nas posições representativas transpostas da realidade.

A nível de dados concretos e informações precisas, o mais próximo que se consegue obter como base de trabalho, será recorrendo às plantas de arquitetura dos edifícios em questão. Partindo dessas plantas, podemos criar uma base inicial de trabalho, que permite auxiliar a criação dos edifícios no *Wallman*. Essas plantas da arquitetura estão elaboradas em formato *Autocad*.

O *Wallman* contém um módulo que permite a conversão de ficheiros *Autocad*, mas a importação não é linear. É imperativo saber o modo como o *Wallman* interpreta os dados das plantas *Autocad* e como os converte para o *Wallman*.

Estes ficheiros *Autocad* apresentam apenas as vistas 2D dos edifícios, ou de perspetiva lateral ou da perspetiva superior, mas sempre em 2D. Toda a informação com que podemos trabalhar é 2D. O conteúdo do *Wallman* é 3D, embora apresenta vistas 2D para mostragem desse conteúdo, mas é 3D, que neste caso impõe alguma incompatibilidade, que se irá refletir na conversão.

Para o processo de importação, vamos utilizar a vista superior do *Autocad*, por onde visualizamos as paredes e as portas do edifício.

Antes de iniciar o processo de construção propriamente dito, houve um processo de conhecimento da mecânica de funcionamento desta conversão. Foram utilizadas algumas plantas de teste, para importação, e partindo desse ponto o ajustamento necessário para se chegar ao edifício. O *Wallman* funciona em vertente 3D, que manipula as três frentes conforme necessário, porém na importação a partir do *Autocad* é feita uma leitura em 2D, a vista de cima. Na importação é apenas adicionado uma cota, correspondente à altura do edifício. O resultado deste processo de conversão é um edifício apenas com paredes. Não há janelas convertidas, portas convertidas, escadas convertidas e equipamentos diversos. Estes elementos terão que ser introduzidos um a um, a cada uma das paredes onde estejam localizadas. As várias importações de testes realizadas permitiram entender o mecanismo de importação, e assim, otimizar o método do processo da conversão. No processo de conversão, todas as linhas existentes no desenho *Autocad*, são convertidas em paredes com uma determinada altura, alturas que são definidas na importação. Cada *layer* do *Autocad* pode ter um valor de altura diferente.

Para este processo, é útil ajustar, o mais que possível, todas as condicionantes em cada um dos ficheiros *Autocad* que se vai utilizar, em função daquilo que vai acontecer na conversão para o *Wallman*, facilitando a implementação, numa tentativa de rentabilizar o melhor possível o tempo que se teria de utilizar, na construção do cenário no *software Wallman*. Assim, em cada um dos ficheiros *Autocad* criados, poderíamos ajustar o

conteúdo em função das necessidades. Um desses pré-ajustes foi relativo às paredes dos edifícios. Foi removido o preenchimento das paredes (*hatch*) (Figura 5.1) para melhor se visualizar as linhas das paredes.

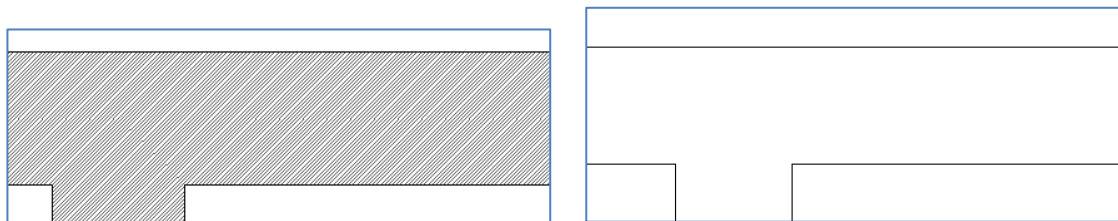


Figura 5.1 - Remoção do preenchimento das paredes no *Autocad*

Em cima do desenho das plantas do *Autocad*, transforma-se a espessura das paredes em apenas uma linha única, que no *Wallman*, por si só, representará uma determinada e configurável espessura (Figura 5.2). A principal diferença é o facto de no *Autocad*, as espessuras das paredes são definidas com 2 linhas que delimitam as paredes e definem a espessura, enquanto que, no *Wallman*, essa espessura está intrínseca no tipo de material, sendo apenas necessário 1 linha para produzir uma parede com determinada espessura. Se for feita a importação sem este passo, iremos criar 2 paredes onde só queremos 1. Assim cada parede foi substituída por 1 linha que atravessa o seu meio, linha que representará a mesma parede.

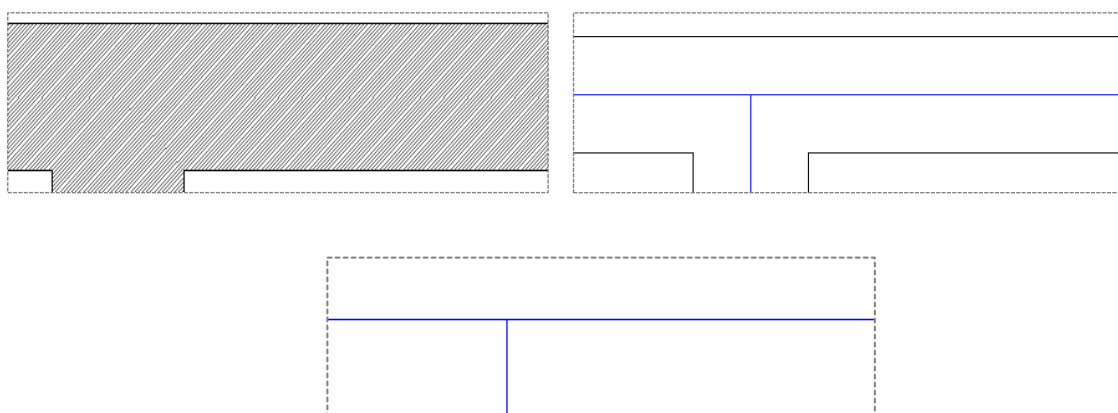


Figura 5.2 - Alteração das espessuras das paredes para apenas uma linha única

Outro pré ajuste realizado, foi a preparação das portas e das janelas.

As portas e as janelas no *Autocad* são representadas como mostrado na Figura 5.3. A importação do *Wallman*, iria transformar este conteúdo em parede, o que iria produzir muitos objetos indesejados, e nenhum deles com a funcionalidade desejada. Neste caso só precisamos de substituir estes elementos, ainda no *Autocad*, por linhas, para importar apenas 1 elemento que corresponderá uma porta ou uma janela.

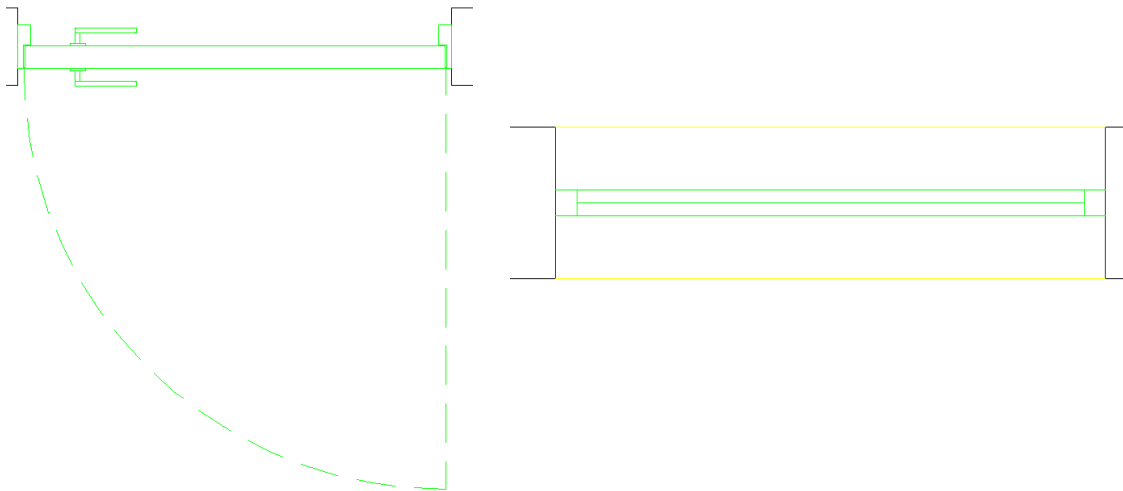


Figura 5.3 - Representação de portas e janelas no Autocad

As portas e as janelas das plantas do *Autocad* teriam que ser substituídas por linhas, que representariam essas mesmas portas e janelas, e que iriam estar inseridos na parede, como uma subdivisão. Antes da importação, essa linha (porta) irá estar junto à parede (Figura 5.4). Assim, para utilização no *Wallman* temos uma parede com uma porta, que corresponde a uma subdivisão da parede. Sabendo que numa vista superior, esta parede e esta porta corresponde ao mesmo espaço físico. Tal co-localização terá que ser feita diretamente no *Wallman*. Por isso, na fase pré-importação, vamos colocá-las lado a lado, para posteriormente no *Wallman* criar-se a subdivisão porta ou janela, co-localizados com a parede correspondente.

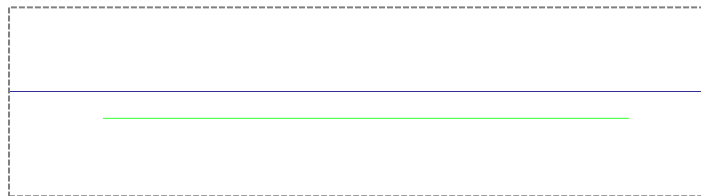


Figura 5.4 – Parede (linha azul) e a porta (linha verde)

Este projeto considera que as paredes em contacto com o exterior, sendo mais espessas, possuem caixa-de-ar. Assim, como já referido, as nossas paredes exteriores irão ser constituídas por 3 elementos, uma parede de tijolo, uma caixa-de-ar com *wallmate* e outra parede de tijolo. Para a importação ficar mais completa, pode-se efetuar este detalhe ainda na fase pré-importação. Assim, as paredes do exterior no *Autocad* (2 linhas==1 parede) foram substituídas por 3 linhas que corresponderão a 3 objetos (Figura 5.5) que correspondem a uma parede com caixa-de-ar, em que dentro da caixa-de-ar existe *wallmate* inserido.



Figura 5.5 - Parede Exterior com caixa-de-ar

Para cada uma destas alterações realizadas no *Autocad*, foram criadas *layers* respetivas, em função das várias espessuras existentes. Por exemplo, paredes de 10cm correspondem a apenas uma *layer*. Paredes de 15cm corresponde a outra *layer*. Portas de madeira, portas de vidro, pilares de 50cm, vidros, etc., também cada uma com a sua respetiva *layer*.

As plantas em *Autocad* estão subdivididas em pisos, com vista de cima. Isto significa que a adaptação da planta terá que ser feita piso a piso. Em termos de utilização na conversão para o *Wallman*, isto significa que terá que ser criado um projeto *Wallman* para cada piso de cada edifício, posteriormente englobando os vários projetos num só, de modo a construir os edifícios pretendidos. Os novos vários ficheiros *Autocad* criados, correspondentes a cada um dos pisos, tiveram que ser deslocados para um ponto comum com as coordenadas em (0,0,0), de modo a facilitar posteriormente o alinhamento posicional de todos os pisos.

O primeiro edifício a ser elaborado foi o Edifício B. O Edifício B é constituído por 3 andares, o piso 0, o piso 1 e o piso 2. A importação para o *Wallman* tem que ser feita individualmente, para cada um dos pisos.

Portanto, foram criados manualmente 3 novos ficheiros *Autocad*, para os pisos 0, 1 e 2 e com as adaptações descritas acima, resultando, por exemplo o piso 0 no *Autocad* apresentado na Figura 5.6. Tendo os 3 pisos individuais concluídos no *Autocad*, pode-se iniciar o processo de construção dos edifícios com o *Wallman*, recorrendo à conversão.

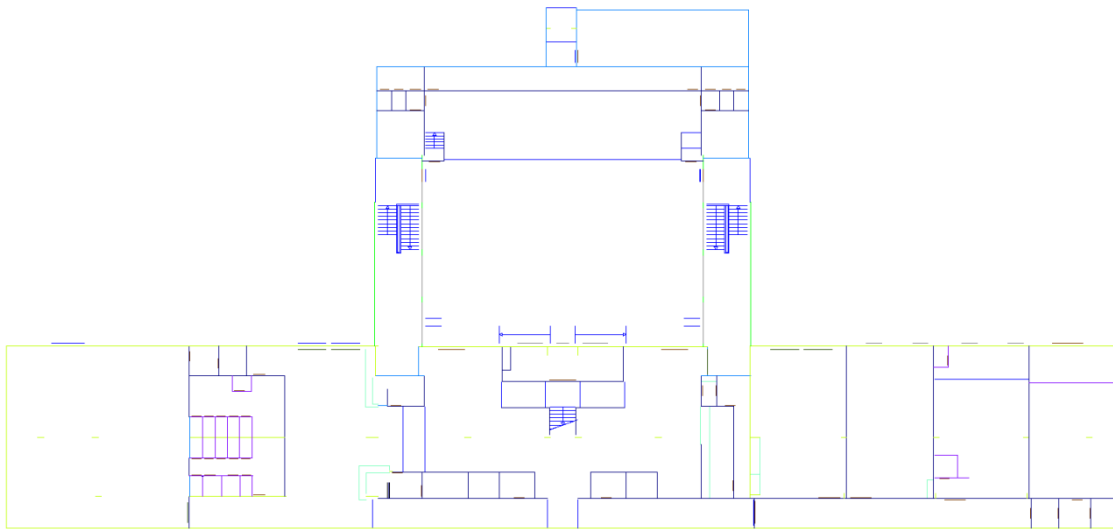


Figura 5.6 - Ficheiro Autocad adaptado do piso 0 Edifício B

5.2. Processo de construção dos edifícios com o “Wallman”

Cada piso, de cada um dos edifícios a ser construído, terá que ser criado individualmente no *Wallman*, juntando-os posteriormente. Todo o processo que se descreve de seguida terá que ser feito para cada um dos pisos de cada um dos edifícios.

O início do processo de construção no *Wallman* é caracterizado pela importação do ficheiro *Autocad* para o formato *Wallman*, que pode ser iniciado após o arranque do *Wallman*.

Para aceder a esse processo de conversão selecionamos “New Database” no menu da janela do *Wallman* (Figura 5.7).

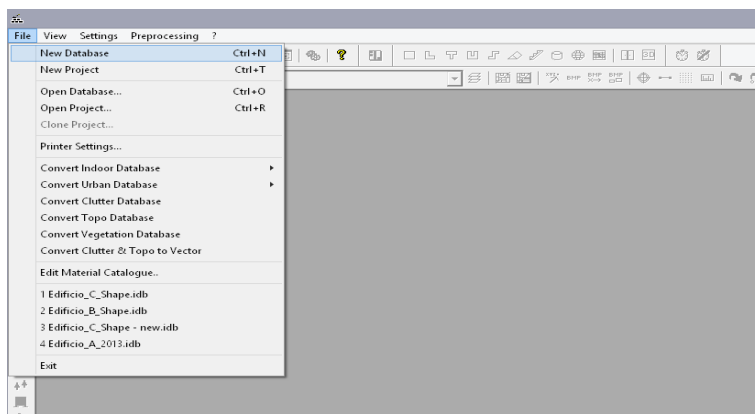


Figura 5.7 - Nova database

No quadro seguinte escolhe-se “indoor *database*”, porque neste momento queremos criar uma base de dados de interior, correspondente ao edifício B e selecionamos “Convert File(GIS or CAD data)” para convertermos informação dos ficheiros CAD da arquitetura para o *Wallman* (Figura 5.8). Para já não vamos especificar nenhum catálogo de materiais.

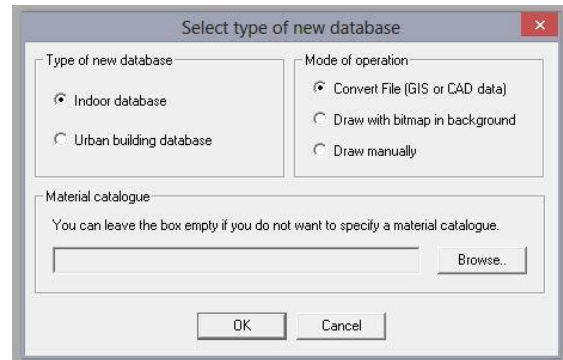


Figura 5.8 - Criar nova base de dados – Selecionar tipo de *database*

No quadro seguinte (Figura 5.9), é questionado sobre a configuração base do nosso projeto, isto é, aqui definimos qual os parâmetros base para quando adicionamos uma novo objeto, por exemplo uma parede. Aqui optamos por deixar ficar os valores por omissão, dado que vamos realizar uma importação de *Autocad* e também porque, para já, vamos apenas elaborar um piso de cada vez.

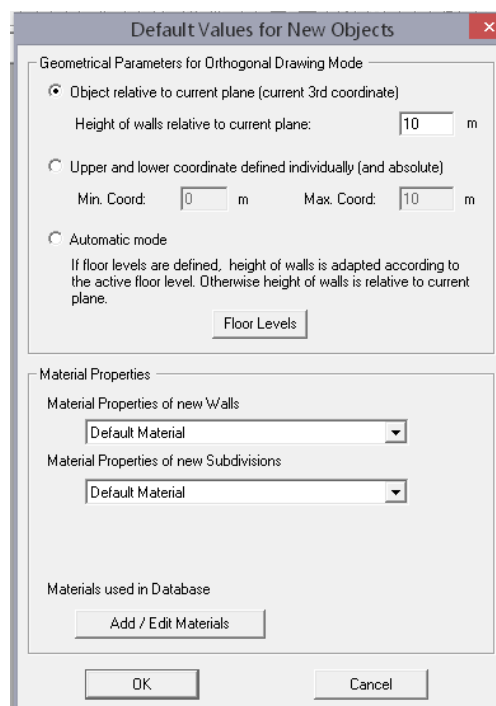


Figura 5.9 - Valore de omissão no processo de conversão

Na janela seguinte vamos definir o formato da conversão, que neste caso é *Autocad*. Assim selecionamos “*Autocad File Format (*.dwg, *.dxf)*” (Figura 5.10).

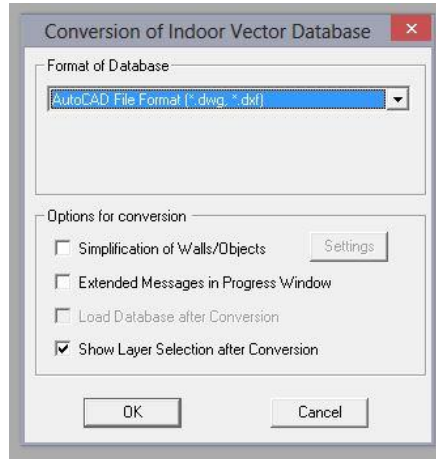


Figura 5.10 - Conversão para *database* interior

No quadro seguinte, selecionamos o ficheiro *Autocad* do piso que preparámos anteriormente para esta conversão, neste caso o piso 0 do edifício B (Figura 5.11).

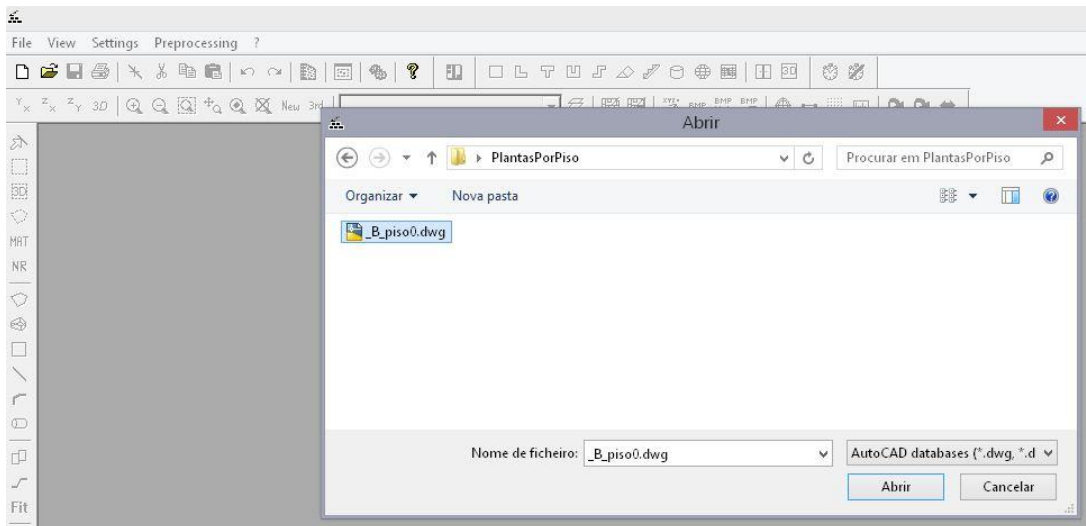
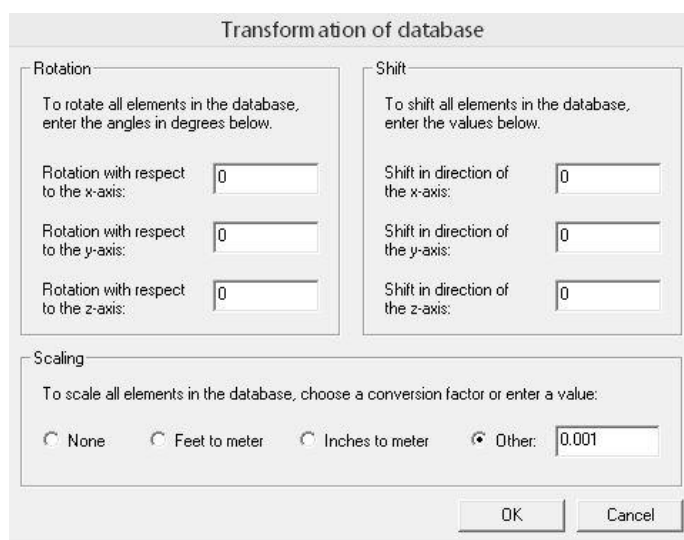


Figura 5.11 - Ficheiro *Autocad* do Piso 0

A seguir o programa pede o nome de ficheiro para onde vão ser convertidas a informação *Autocad*. Será um ficheiro de extensão *.ldb, que corresponde a um projeto *Wallman* interior.

Após o processo de criação do ficheiro, aparece um quadro, a questionar se é necessário algum tipo de ajuste de escala. Sim, é necessário. O projeto de *Autocad* está elaborado em milímetros, enquanto o *Wallman* trabalha em metros, o que significa que temos de efetuar um ajuste de escala de 0.001 (Figura 5.12). O *Wallman* não sabe que o projeto de *Autocad* está em metros, portanto o que para o *Autocad* é 1 metro (1000 mm) para o *Wallman* será 1000 metros, se não fizermos este ajuste de escala.



The image shows a dialog box titled "Transformation of database". It is divided into three main sections: "Rotation", "Shift", and "Scaling".

- Rotation:** Contains the instruction "To rotate all elements in the database, enter the angles in degrees below." and three input fields for rotation with respect to the x-axis, y-axis, and z-axis, all containing the value "0".
- Shift:** Contains the instruction "To shift all elements in the database, enter the values below." and three input fields for shift in the direction of the x-axis, y-axis, and z-axis, all containing the value "0".
- Scaling:** Contains the instruction "To scale all elements in the database, choose a conversion factor or enter a value:". It has four radio button options: "None", "Feet to meter", "Inches to meter", and "Other". The "Other" option is selected, and its corresponding input field contains the value "0.001".

At the bottom right of the dialog box are "OK" and "Cancel" buttons.

Figura 5.12 - Ajuste de escala

De seguida aparece uma janela (Figura 5.13) onde nos é mostrado todas as *layers* detetadas no ficheiro *Autocad*. Seleciona-se todas as *layers* criadas com a intenção de conversão:

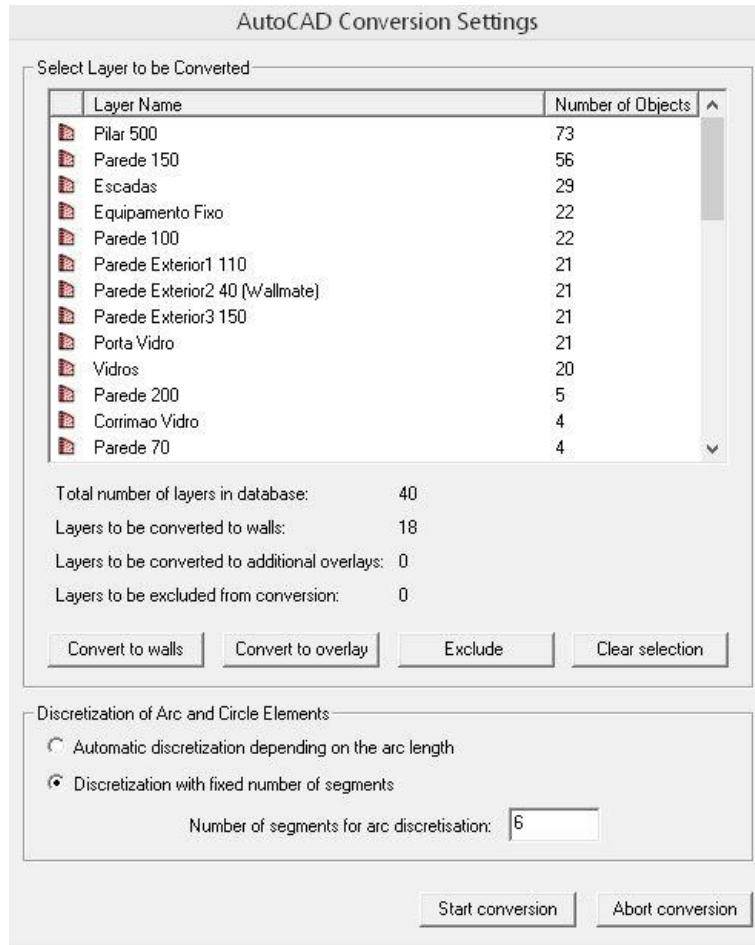


Figura 5.13 - Layers a serem convertidas

Selecionamos estas *layers* e o botão “Convert to Walls”. As *layers* selecionadas serão as *layers* que serão convertidas para o *Wallman*. As não selecionadas, não serão convertidas e não irão existir no projeto *Wallman*.

No mesmo quadro mais em baixo, vamos escolher a opção “Discretization with fixed number of segments” com o valor 6, o que significa que todos os círculos existentes no *Autocad* serão convertidos para um hexágono (6 lados), que corresponderá a uma aproximação aceitável do círculo. Para iniciar a conversão selecionar “Start conversion”.

O próximo passo é definir qual a altura dos objetos para cada uma das *layers* selecionadas (Figura 5.14). Neste caso, o piso 0 do edifício B tem 4 metros de altura, portanto, todas as *layers* de paredes e de pilares terão 4 metros. A *layer* equipamento 1 metro, a *layer* “escada” para já, com 1 metro (tem que ser editada posteriormente no *Wallman*), corrimão 0.9 metros, vidros 1 metro, portas de madeiras e portas de vidro 2 metros.

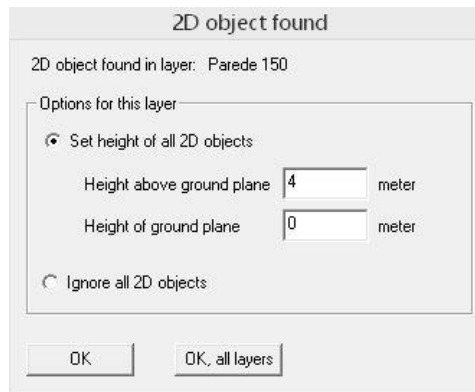


Figura 5.14 - Definir a altura dos objetos de cada layer

Após a conclusão de todo este processo de conversão, vamos iniciar outra fase, que é a de construção da base de dados *Wallman* a partir dos objetos importados.

Em princípio, todas as paredes, com a sua altura de 4 metros definidas já estão na posição pretendida. Assim, o próximo passo é criar as subdivisões, que serão essencialmente janelas e portas. As portas e janelas já foram preparadas no *Autocad* para esta conversão. Agora é necessário colocar as janelas nas coordenadas respetivas e deslocá-las para a posição da parede e criar uma subdivisão (Figura 5.15).

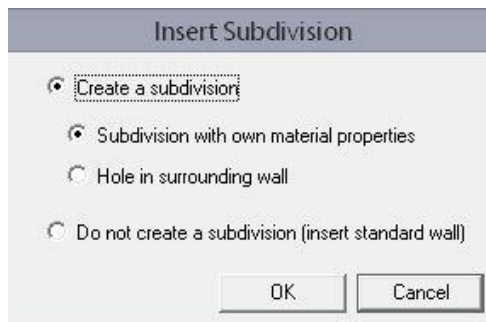


Figura 5.15 - Criar subdivisão

As escadas terão que ser criadas na totalidade no *Wallman*, sendo a *layer* de importação utilizada apenas como referência de posicionamento. Estas escadas foram criadas com uma ferramenta do *Wallman* chamada LEGO TOOL e selecionando “Create Stairs” onde se define a altura dos degraus, a profundidade dos degraus, a largura dos degraus, o número de degraus, a espessura da base das escadas e a altura das escadas em relação ao chão (Figura 5.16). Também aqui se deve definir o material de que são constituídas as escadas, neste caso, betão (concrete) 25cm.

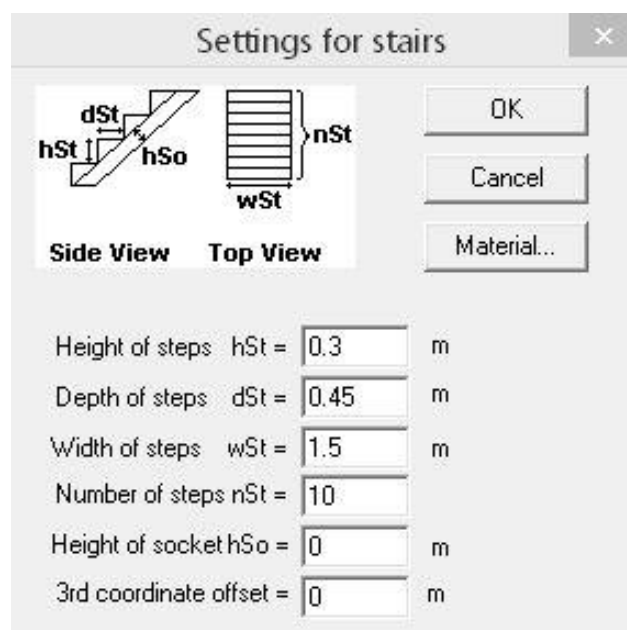


Figura 5.16 - Criar escadas com o "Lego Tool"

É necessário também criar o chão do piso, tendo em atenção que nas zonas de escadas, se necessário, pode-se criar uma subdivisão do tipo "buraco" (sem qualquer material associado).

Para já ainda não foi feito algum tipo de configuração específico das propriedades elétricas de materiais. Como já referido, a AWE disponibiliza um catálogo global de materiais, dos quais podemos importar alguns dos materiais mais comuns para as diferentes espessuras que no caso do nosso projeto, esses valores foram alterados em função dos parâmetros pretendidos. Portanto, a cada *layer* vai ser atribuída um tipo de material correspondente, da lista de materiais do projeto.

Para aceder ao quadro de gestão dos materiais escolhemos na barra de menus "Edit/Materials". Este quadro de gestão neste momento tem todas as *layers* existentes com os valores de omissão para o material. Portanto vamos importar, selecionando "Import", o catálogo global disponibilizado pela AWE selecionando os materiais que nos interessa, neste caso (Tabela 5.1):

Material	Thickness
Brick	10 cm
Brick	20 cm
Brick	30 cm
Concrete	20 cm
Concrete	30 cm
Glass	2 mm
Glass	5 mm
Metal	1 mm
Metal	5 mm
Plaster Board / Sheetrock	5 cm
Plastic (Polystyrene)	5 cm
Wood (Particle Board)	10 cm
Wood (Particle Board)	5 cm
Wood	10 cm

Tabela 5.1 - Materiais importados do catálogo global de materiais

Cada um destes materiais estão pré-configurados para as frequências de 450MHz, 900MHz, 1500MHz, 1800MHz, 2000MHz, 3500MHz, 5000MHz. Estes materiais importados não abrangem todas as nossas necessidades, mas servem de base para todos os materiais ainda em falta, recorrendo à cópia de materiais e alterando os valores em função do pretendido, isto é, utilizando os dados da tabela *excel*, disponível no Anexo A, criada com todos os dados a utilizar para as propriedades elétricas dos materiais.

Após todos os pisos de cada edifício estarem criados, é necessário juntá-los para criar o edifício completo. Para tal temos que criar mais um projeto de cenário interior *Wallman*, para onde irão ser importados os pisos já construídos do mesmo edifício. O ponto (0,0,0) foi sincronizado no *Autocad*. Assim, o único cuidado a ter é a coordenada em z, para que os pisos juntos fiquem sincronizados em termos de altura, e juntos construam o edifício.

Assim, cria-se um novo projeto *Wallman*, desta vez selecionando “Draw Manually” (Figura 5.17).

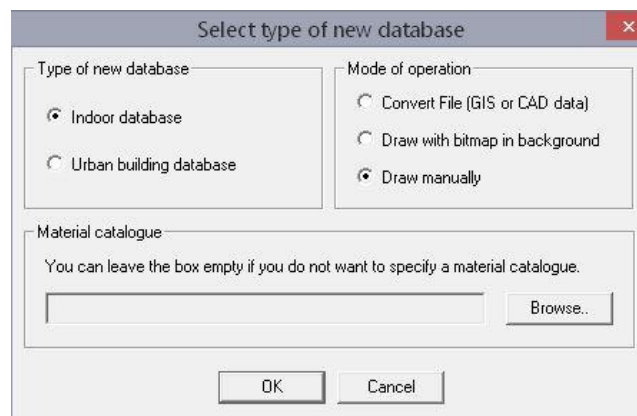


Figura 5.17 - Novo Projeto Wallman

Neste projeto vazio, selecionamos “File/Import/Winprop Binary Database” na barra de menu e escolhe-se o piso a importar com a opção “Use material properties from existing file (if same description)” e de seguida escolhe-se a posição que esse piso vai ficar colocado neste projeto. Este processo repete-se para todos os pisos, tendo o cuidado de colocar os pisos nas respetivas alturas.

Com um ou outro ajuste necessário para agregar os vários pisos como um edifício único, nesta altura já temos o edifício concluído (Figura 5.18) e estes passos descritos, repetem-se para os edifícios C e D.

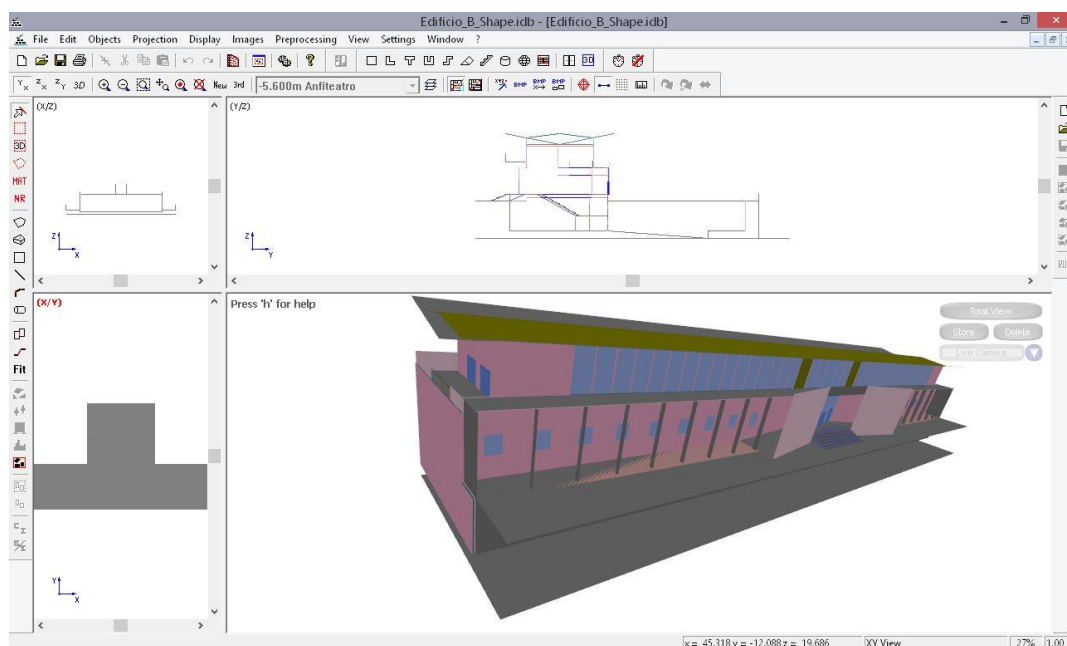


Figura 5.18 - Database Interior do Edifício B concluído

Nesta altura temos o edifício A, edifício B, edifício C e edifício D concluídos. O próximo passo é juntar estes quatro edifícios no mesmo cenário, isto é, num cenário urbano.

Neste caso queremos aproveitar um projeto urbano *Wallman* já existente, de uma parte da cidade de Leiria, disponibilizado pela escola. Vamos reaproveitar este projeto urbano e melhorar a descrição de edifícios da área referente ao *Campus 2*, que na Figura 5.19 está delimitado com o retângulo vermelho.

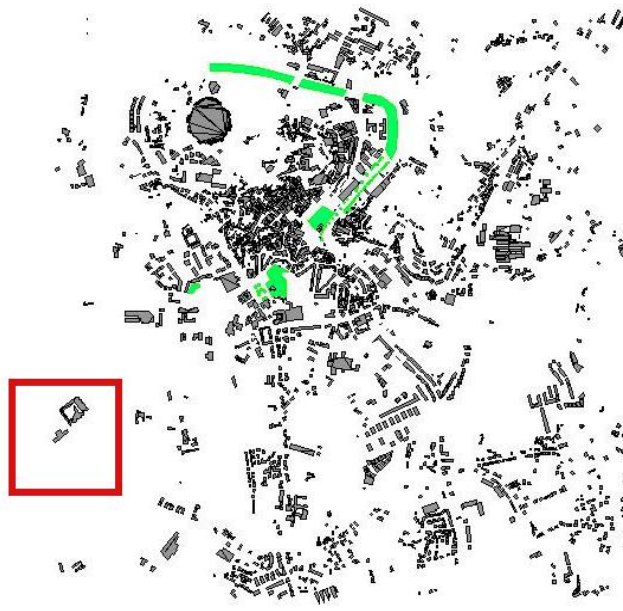


Figura 5.19 - Projeto *Wallman* Urbano de Leiria

Para detalhar essa área de uma forma mais precisa, vamos inserir no fundo do projeto urbano *Wallman* uma imagem de vista superior do *Campus 2*, que vai servir de referência para a colocação dos nossos novos edifícios. Essa imagem (Figura 5.20) foi exportada a partir de um ficheiro *Autocad* georreferenciado disponibilizado pela escola, mais concretamente pela direção dos serviços técnicos.



Figura 5.20 - Imagem exportada do *Autocad*

Com esta imagem colocada como fundo do projeto, temos as posições necessárias para os edifícios detalhados A, B, C, D. Para além dos edifícios detalhados, foram também criados os restantes edifícios do *Campus*, a biblioteca e o refeitório, dos quais apenas foi

necessário o valor da cota do edifício, que constavam nos desenhos *Autocad* disponibilizados.

Para criar um cenário híbrido, no modo urbano do *Wallman*, este importa uma *database* interior para a *database* urbana. Para isso, seleciona-se na barra de menu “Objects”/”Import Indoor Database”. O *Wallman* mostra uma caixa de diálogo de confirmação para selecionar o nome de ficheiro do edifício (*database* interior). A forma do edifício é copiada para a área de transferência e deverá ser colado no projeto na localização pretendida (utilizando a imagem de fundo como referência (Figura 5.21). Este processo repete-se para todos os edifícios.

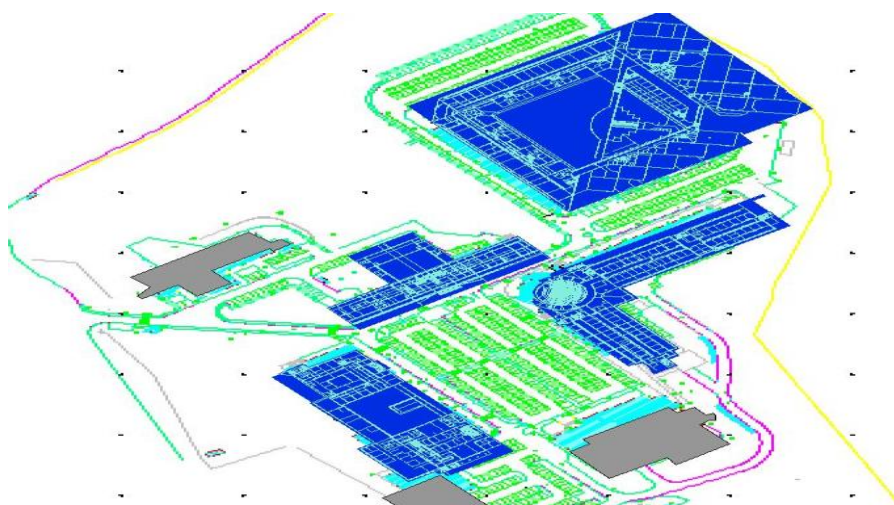


Figura 5.21 – Projeto híbrido com imagem de fundo como referência

Neste momento temos o projeto *Wallman* urbano híbrido concluído.

Por razões de licença, este cenário terá que ser enviado à AWE, antes de poder ser utilizado no outro módulo do *Winprop*, o *Proman*.

5.3. Topografia do cenário

A área escolar considerada neste trabalho está situada numa zona relativamente plana, apresentando apenas uma pequena variação de desnível topográfico não superior a 5 metros. Em termos de simulação da propagação este pequeno desnível apresentado não tem um impacto significativo nos resultados [17].

Ainda assim, a situação ideal seria conseguir apresentar o desnível existente nas nossas simulações. Infelizmente, mesmo com todas as tentativas de se conseguir obter esta informação, para a cidade de Leiria, não foi possível encontrar quaisquer dados para a área pretendida. Inicialmente contactou-se a *United States Geological Survey (USGS)* ao qual nos respondeu que de Portugal apenas tinham informações topográfica da ilha Terceira, Açores

Portugal. Outras procuras foram feitas, mas sem sucesso. A escola ESTG disponibilizou um ficheiro Autocad georreferenciado, mas não se conseguiu utiliza-lo para realizar a conversão deste tipo de ficheiros (ficheiros de vetor) para o formato *pixel* do *Winprop*, dado que tal conversão é impossível neste *software*. O único sítio que se encontrou alguma informação topográfica, indicado pela AWE Communications, foi no *site* da NASA, que apenas disponibiliza ficheiros com uma resolução de 30 metros. Estes ficheiros disponibilizados pela NASA estão em formato DEM (*.HGT) e pertencem a um projeto chamado SRTM. Estes tipos de ficheiros são passíveis de conversão no *Winprop*. O mapa utilizado correspondente a Leiria é o “N39W009.HGT”, posteriormente convertido em “N39W009.TDB” (Figura 5.22).

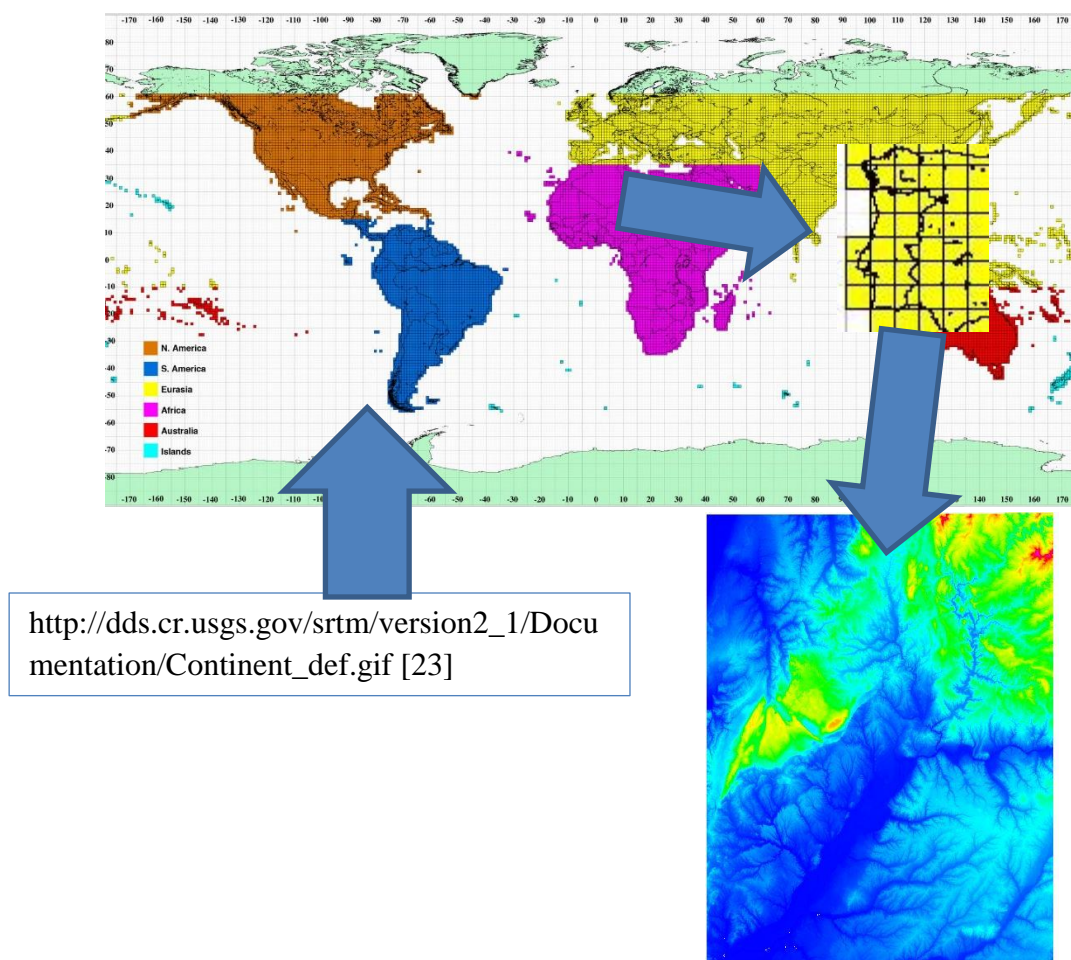


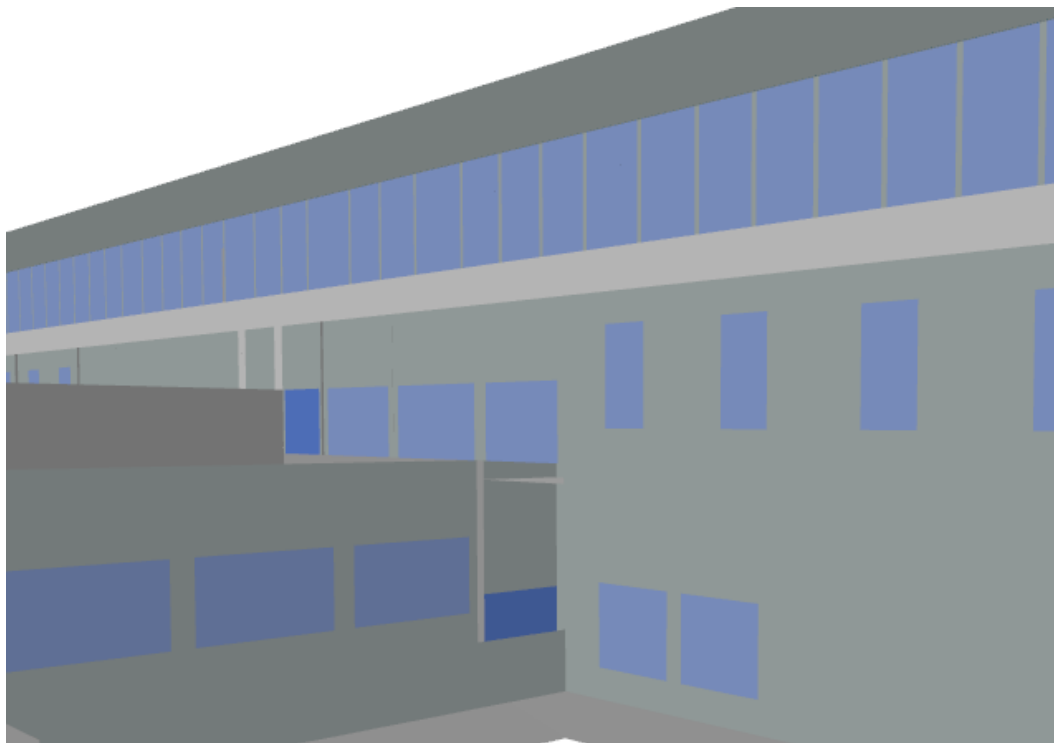
Figura 5.22 - Processo de conversão da informação topográfica

Dado que a resolução desta informação topográfica é pequena, esta não vai ter qualquer impacto no projeto, mas em termos de precisão e estéticos, faz todo o sentido fazer parte do projeto. Infelizmente, no processo de simulação a topografia teve de ser retirada devido a um “bug” do sistema que estava a provocar erros na simulação. A AWE Communications relativamente a este caso, informou que é uma situação que deveria ser resolvida nas próximas versões do *Winprop*. Portanto, por esta razão todos os resultados

das simulações apresentados não vão ter incluídas as informações topográficas no *layout* final neste cenário híbrido (urbano e interior).

5.4. Base de dados do edifício B concluído

De seguida apresentam-se imagens (Figura 5.23) do edifício B construído e concluído através do *Wallman*. As cores não correspondem à realidade e apenas indicam que são constituídos por um determinado material com uma determinada espessura.



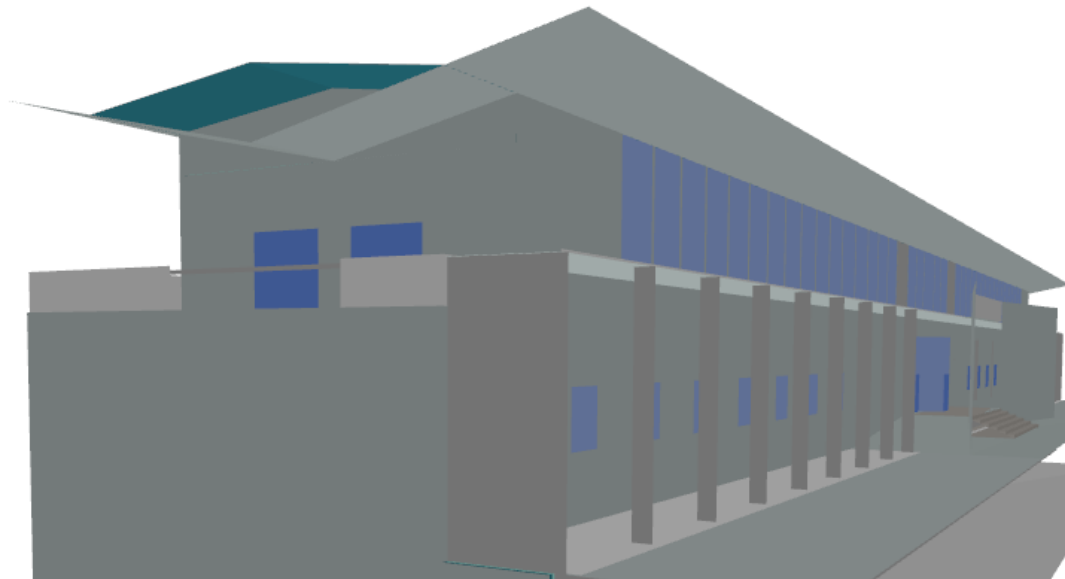
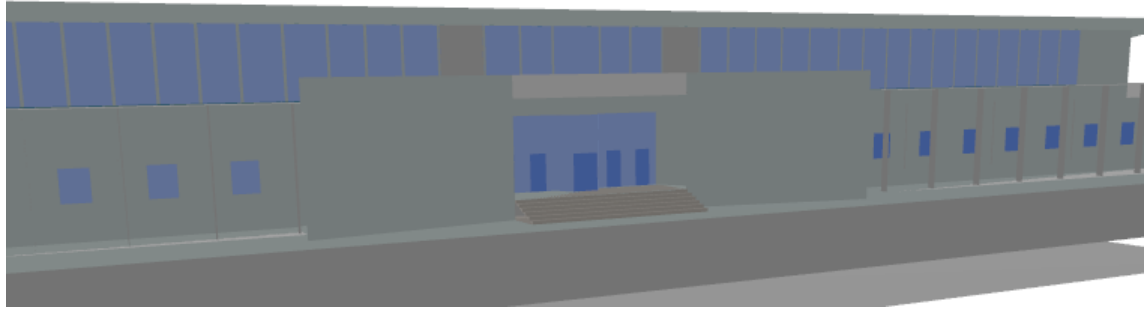


Figura 5.23 – Exemplos do Edifício B concluído

5.5. Base de dados do edifício C concluído

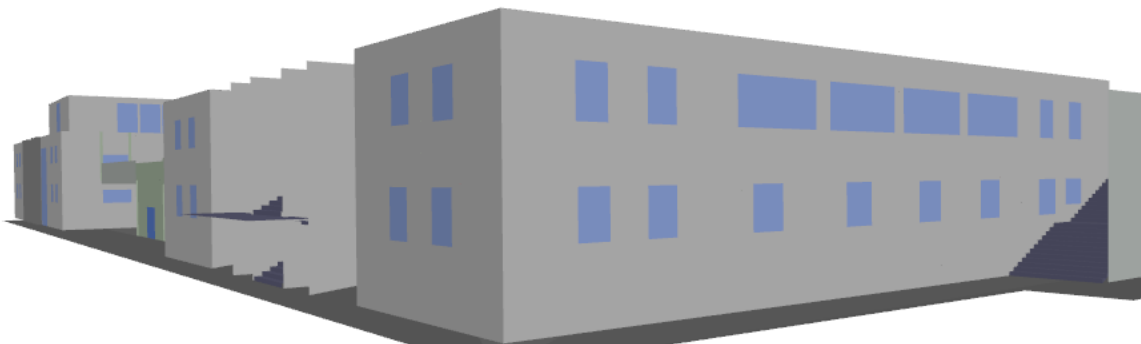
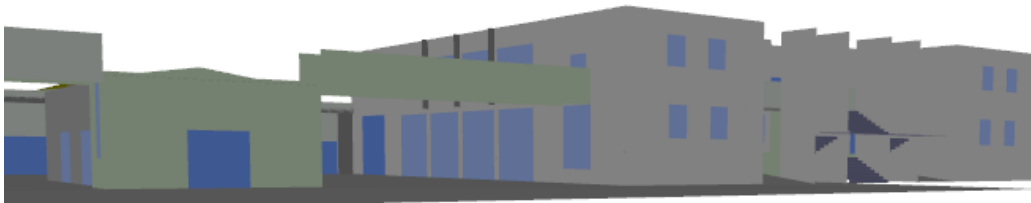
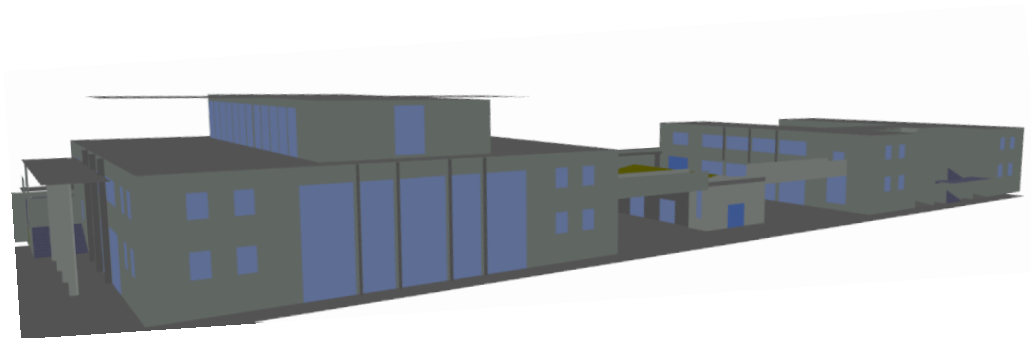
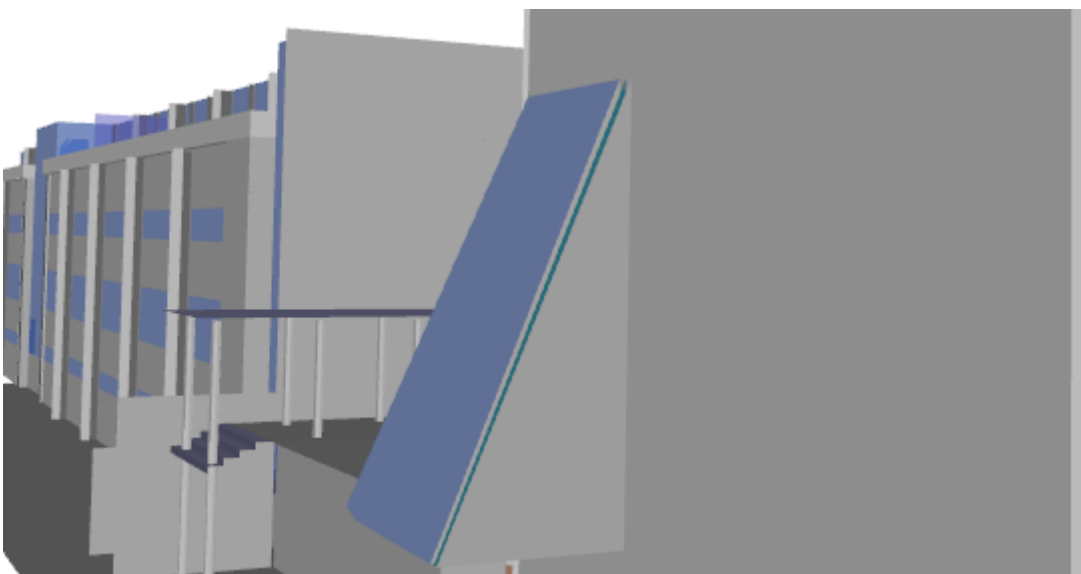
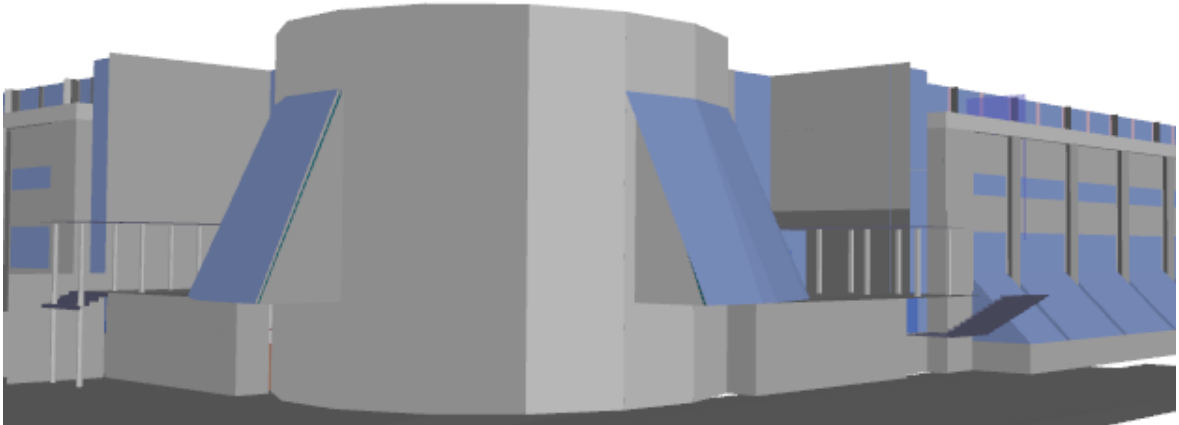


Figura 5.24 - Edifício C concluído

5.6. Base de dados do edifício D concluído



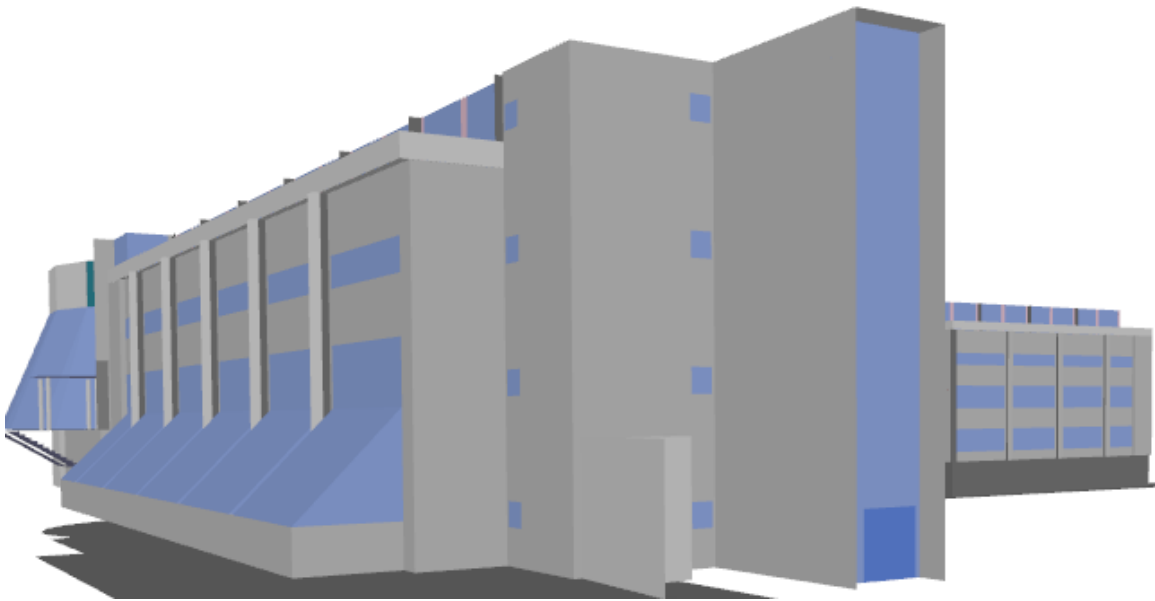


Figura 5.25 - Edifício D concluído

6. Configuração de projeto

O *Proman* permite criar uma simulação de propagação e uma análise de rede das redes móveis no cenário em estudo, o *Campus 2* do IPEL, utilizando alguns modelos de propagação conhecidos. Inicialmente a simulação e a análise vai incidir na rede Wi-Fi existente. As previsões da potência recebida são baseadas através de modelos de propagação precisos, num sistema de comunicação móvel, para prever a “perda de caminho” (*path loss*) entre o transmissor e o recetor, incluindo todos parâmetros importantes do canal. O pacote de simulação *Proman* inclui um módulo para a simulação da interface de rede móvel 802.11, chamado de NET-L. Este módulo permite o planeamento de rede WLAN's dentro de edifícios e zonas urbanas. Inclui técnicas de modulação móveis e suporta 802.11a, 802.11b, 802.11g e 802.11n (com MIMO). Este módulo permite a previsão de atribuição de células, a melhor portadora e a área de cobertura. Também permite prever o desempenho através da máxima taxa total de transferência e máxima taxa por utilizador e permite saber o máximo de nível de sinal a receber, a mínima potência necessária e probabilidade de receção.

As análises das simulações vão incidir principalmente na máxima potência recebida, que nos indica qual a potência máxima que pode ser recebida por uma estação móvel num “downlink”. As análises também vão incidir no SNIR que nos indica a relação do sinal em função do nível de ruído mais a interferência.

As simulações baseadas no fator cobertura baseiam-se na previsão da potência recebida para uma dada área. O planeamento baseado na análise da capacidade do sistema necessita de definições da densidade populacional, incluindo o tráfego exigido e a análise de interferência. Os mapas de taxa de débito mostram onde se consegue atingir volumes de tráfego mais elevados [24].

O anexo C contém a descrição passo-a-passo para a criação de um projeto de simulação de rede do cenário híbrido.

6.1. Atribuição dos Pontos de acesso Wi-Fi com o *Winprop*

Nesta secção adicionam-se os AP's ao cenário. Foi disponibilizada uma lista de AP's existentes na estrutura de rede atual, que indica os nomes dos AP's, os canais que os AP's estão a operar e o nível de potência que estes estão a transmitir (Anexo B). Assim, foram introduzidos os AP's um a um no projeto de simulação, totalizando os 61 que *Campus* dispõe.

6.2. Edifício A

O edifício A está coberto com 29 AP's. O piso 0 tem 7 estações, localizados a 2 metros de altura. O piso 1 tem um total de 17 estações, em que 12 estão a 2 metros do chão (5.6 metros do chão do piso 0) e 5 estão num patamar intermedio entre o piso 0 e o piso 1 (3.6 metros do chão do piso 0). O piso 2 tem 5 estações a 9.28 metros do chão do piso 0.

6.3. Edifício B

O edifício B está coberto com um total de 9 AP's. O piso 0 tem 4 estações, o piso 1 tem 2 estações e o piso 2 tem 3 estações.

Os 4 AP's do Piso 0 estão localizados a 4 m do chão. Os 2 AP's do piso 1 estão localizados a 8.6m relativo ao chão da cave. O piso 2 tem 3 AP's localizados a 12.6 m de altura relativamente ao chão do piso 0.

6.4. Edifício C

O edifício C tem 3 pisos. No Piso 0, os 2 AP's existentes estão localizados a cerca de 2 metros de altura. O piso 1 tem 3 AP's, localizados a 5.734 metros do solo (piso 0). No piso 2 apenas existe 1 AP localizado na creche a 9.494 metros do solo.

6.5. Edifício D

O edifício D tem 4 pisos, com um total de 17 AP's. Os 4 AP's do piso -1 estão localizados a 2 metros de altura. Os 2 AP's do piso 0 estão a 6 metros de altura. Os 5 AP's do piso 1 estão localizados a 10 metros de altura e os 5 AP's do piso 2 estão a 14.105 metros de altura.

6.6. A Simulação de rede e resultados

Após todas as antenas (pontos de acesso) estarem colocadas e configuradas, podemos computar os resultados. Num primeiro passo completamos a simulação da propagação de ondas. Para isto selecionamos no menu "Computation > Propagation: Compute All". A componente de simulação propagação de ondas *Proman* foi concebida para prever, de uma forma precisa, o *Path Loss* (Perda de propagação) entre o transmissor e o recetor.

Num segundo passo, executamos a computação da simulação de rede, que será automaticamente baseada nos dados do primeiro passo (cálculo das perdas de propagação), no item do menu “Computation > Network: Compute Coverage” [12].

6.7. Pré-Processamento da Base de Dados

Para que se possa simular a propagação rádio é necessário efetuar um pré-processamento. Este pré-processamento vai ajudar nas simulações, pois permite adquirir relações que existam na base de dados, por exemplo relações de visibilidade entre edifícios e que, por mais simulações que sejam efetuadas essas relações nunca se alteram nem se influenciam por diagramas de radiação existentes, o nível de sinal das antenas, ou outros. O pré-processamento serve para diminuir o tempo de computação no simulador *Proman*. Permite também corrigir possíveis erros nas bases de dados. Dependendo do modo de propagação escolhido na configuração do pré-processamento, podem-se obter diferentes ficheiros de saída, no formato binário [12].

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

7. Simulações da rede Wi-Fi

7.1. Considerações gerais

Para uma melhor análise dos resultados calculados pelo *Winprop*, vamos considerar uma placa de rede sem fios, da marca Cisco como um possível dispositivo para o utilizador. O “Cisco Aironet 802.11a/b/g Wireless CardBus Adapter” apresenta a seguinte informação de valores típicos para a sensibilidade de receção [25]:

Sensibilidade de receção 802.11 g (valores típicos)
-86 dBm @ 6Mbps
-86 dBm @ 9Mbps
-86 dBm @ 12Mbps
-86 dBm @ 18Mbps
-84 dBm @ 24Mbps
-80 dBm @ 36Mbps
-75 dBm @ 48Mbps
-71 dBm @ 54Mbps

Tabela 7.1 - Sensibilidade de receção do Cisco Aironet 802.11a/b/g Wireless CardBus Adapter

Por exemplo, para uma receção com uma velocidade de transmissão de 24Mbps, necessitamos cerca de -85 dBm de sinal.

Toda a apresentação de resultados das simulações realizadas podem ser consultadas nos anexos D, E, F, G e H.

7.2. Edifício A

7.2.1. Área das células

Para o nível de sinal que cada antena apresenta foi simulada a área resultante de cada célula. Assim, nas figuras abaixo representadas podemos ver a área das células existentes em cada piso. As estações (AP's) pertencentes ao piso em análise estão marcadas com um ponto vermelho, para melhor se compreender a análise.

Numa primeira análise é evidente a influência das paredes e a existência de áreas amplas e corredores., e assim delineando o tamanho células.

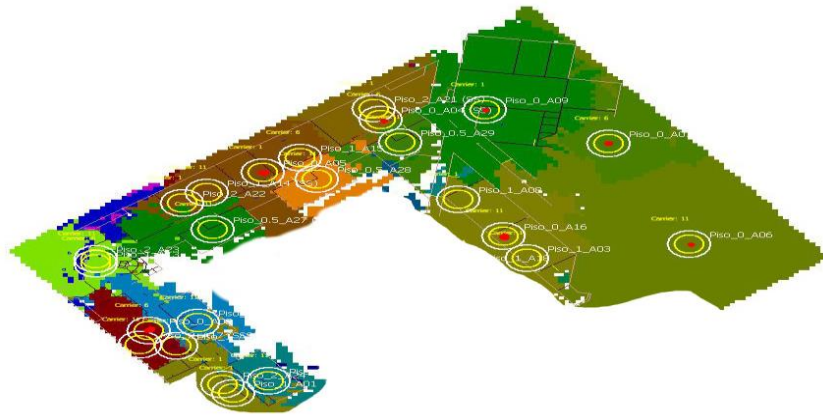


Figura 7.1 - Área das células Piso 0 Edifício A

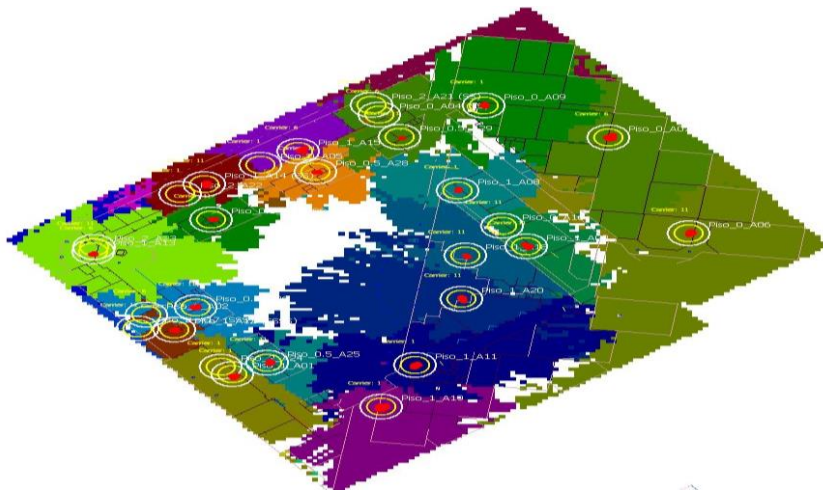


Figura 7.2 - Área das células Piso 1 Edifício A

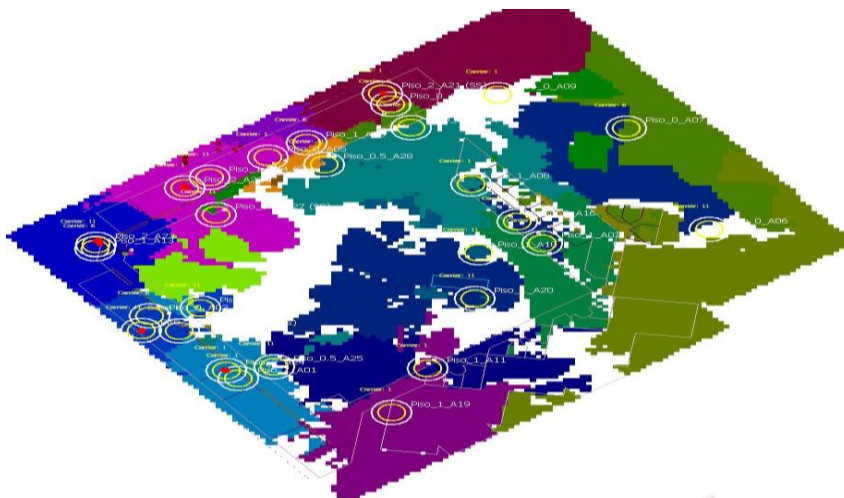


Figura 7.3 - Área das células Piso 2 Edifício A

7.2.2. Número de portadoras recebidas

Analisando as imagens dos três pisos, podemos perceber que na maior parte do edifício existem sempre duas portadoras disponíveis. Em algumas zonas até se apresentam a influência de três frequências. No piso 2 há uma pequena zona de gabinetes que apenas possui um portadora disponível de ligação, o que indicia uma possível zona com uma capacidade *roaming* reduzida (Figura 7.4).

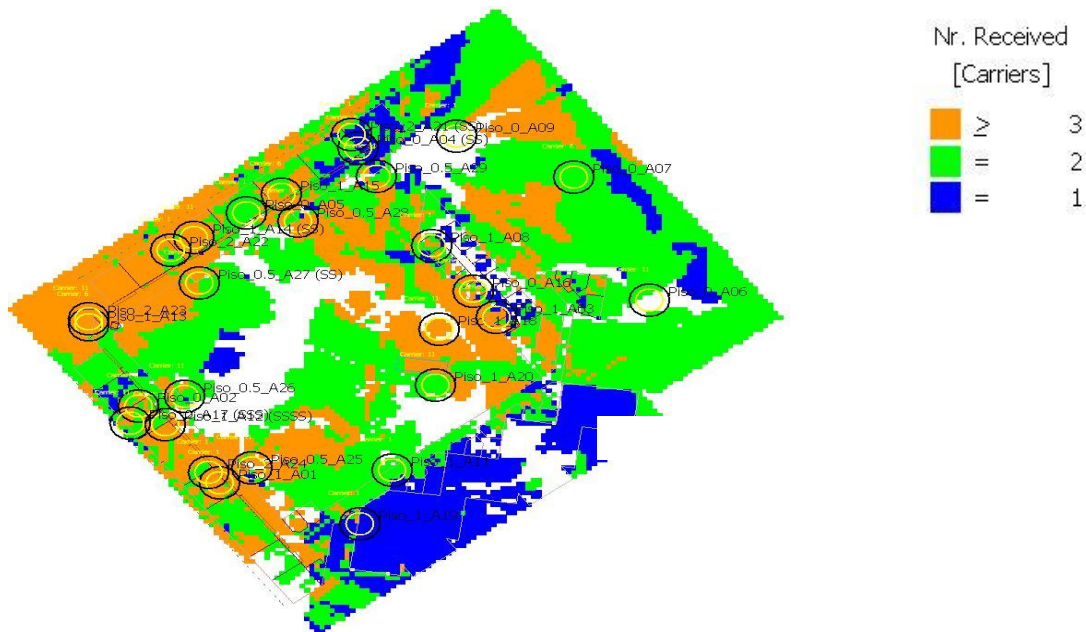


Figura 7.4 - Número de portadoras recebidas no piso 2 do edifício A

7.2.3. Portadora dominante

As figuras mostram a distribuição dos canais dominantes, indicando qual a frequência com o sinal mais forte nas diferentes áreas do edifício. Existem algumas zonas onde se deteta antenas adjacentes radiando a mesma frequência, o que será uma fonte de interferência, situação esta, mais notória principalmente no piso 1 (Figura 7.5), onde existe um maior número de AP's adjacentes com o mesmo canal.

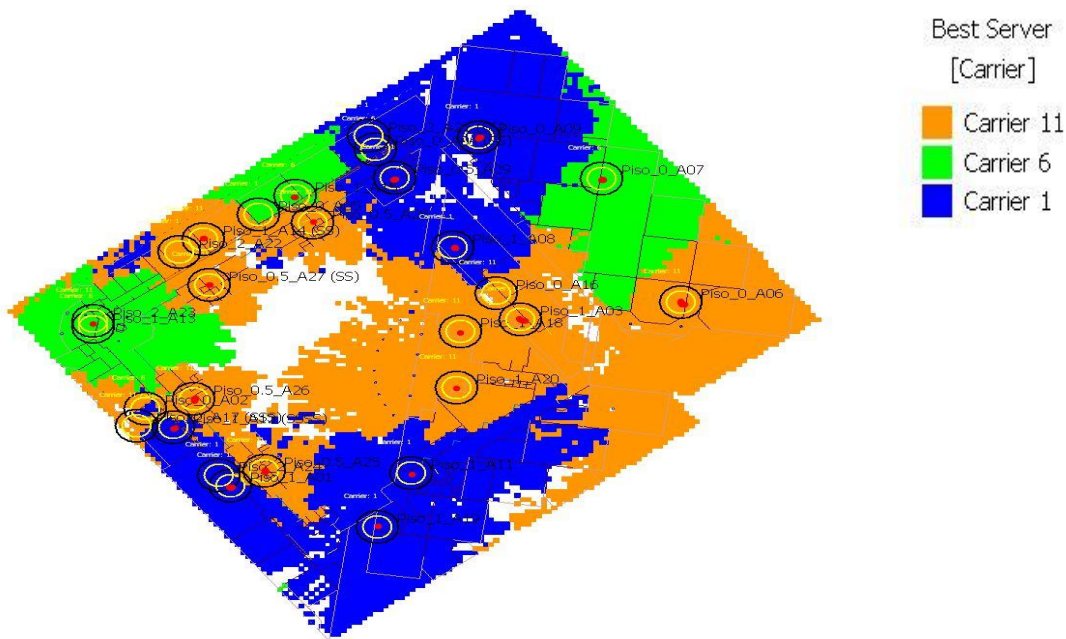


Figura 7.5 - Portadora dominante do piso 1 edificio A

7.2.4. Máximo sinal recebido

Pode-se constatar que a nível de cobertura se consegue atingir, em qualquer ponto do edifício, à exceção do piso 2, um valor acima dos -85dBm. De forma geral o nível de sinal recebido varia muito entre os -85dBm e os -45dBm o que mostra que este edifício não mantém um nível de cobertura homogénea, como se pode ver na Figura 7.6, relativo ao piso 1.

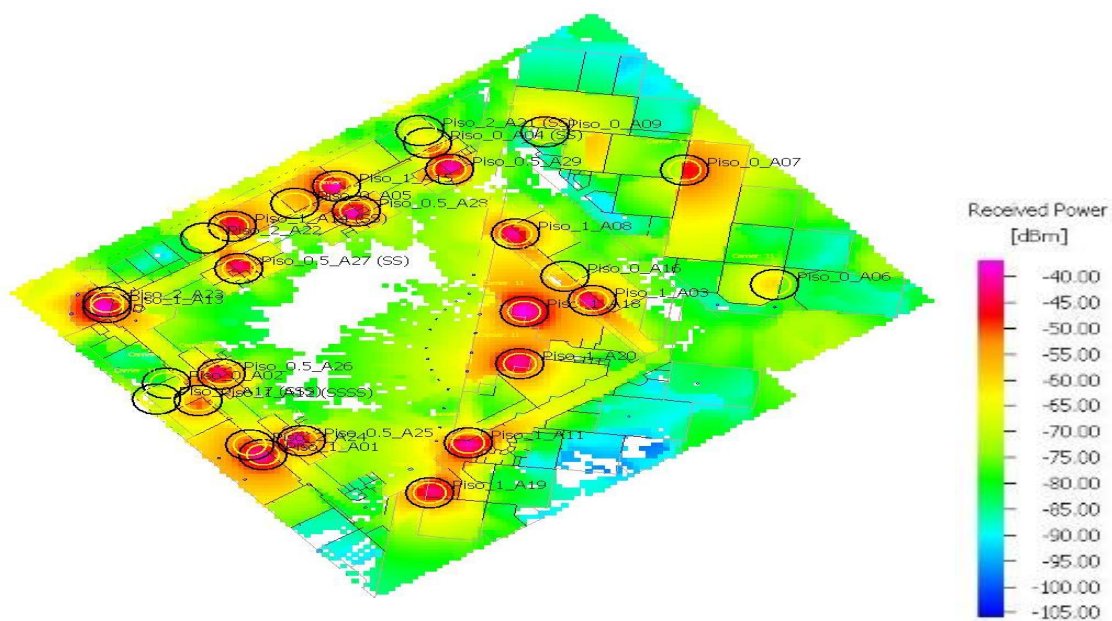


Figura 7.6 - Máximo sinal recebido no piso 1 do edificio A

7.2.5. Análise do SNIR

Apresentamos de seguida a análise do SNIR. Nos três pisos denotam se valores SNIR muito baixos, o que indicia a existência de situações que tenham que ser ajustadas. Juntando a esta análise da portadora dominante concluímos que existem muitos AP's adjacentes com o mesmo canal. Esta situação vai inevitavelmente criar interferências tornando significativa nos valores baixos de SNIR apresentado, exemplificado na Figura 7.7.

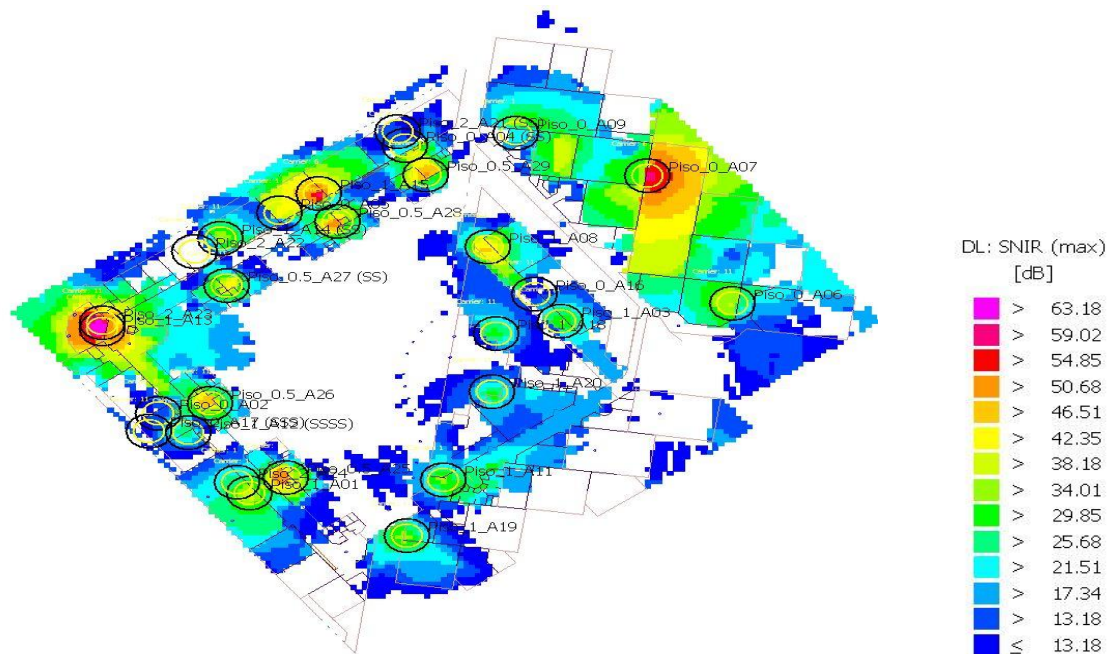


Figura 7.7 - Análise do SNIR do piso 1 edifício A

7.2.6. Máxima taxa de débito binário

As figuras seguintes apresentam resultados para as várias velocidades que os equipamentos podem utilizar. As zonas dos corredores das salas de aula maioritariamente têm acesso aos 54Mbit/s, embora este valor seja muito pouco uniforme por todas as salas de aula. Existem alguns pontos do edifício que não conseguem atingir esta velocidade ou próximo, mas ainda assim, oferece pelo menos 24Mbit/s. Podemos realçar alguns pontos fulcrais que apenas apresentam velocidades de funcionamento muito baixas.

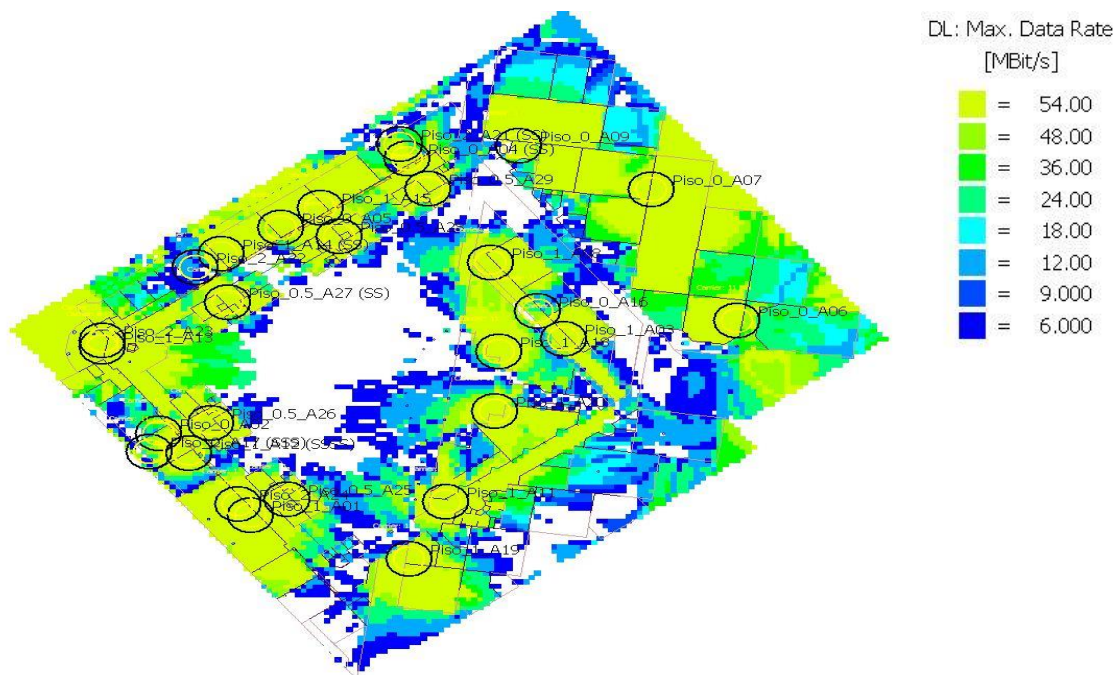


Figura 7.8 - Máximo débito binário do piso 1 edifício A

7.2.7. Análise geral do edifício A

De uma forma geral, o edifício A apresenta uma cobertura mínima satisfatória na medida em que apresenta um nível de sinal máximo recebido suficientemente elevado nos vários pontos do edifício. Mas é necessário destacar o elevado grau de interferência existente em alguns pontos, o que inevitavelmente, vai prejudicar o serviço apresentado pela rede. Existem zonas que são utilizadas para conferências que estão devidamente acompanhadas com a existência de AP's. Existe ainda uma zona bar/refeitório que também está devidamente reforçada com AP's mas que utilizam a mesma portadora o que poderá influenciar o desempenho da rede nesta área.

7.3. Edifício B

7.3.1. Área das células

Nas figuras abaixo representadas podemos ver a representação da área das células existentes em cada piso. As estações (AP's) pertencentes ao piso de análise estão marcadas com um ponto vermelho, para facilitar o processo de compreensão das várias áreas em cada piso.

Numa primeira análise é evidente a influência das paredes e as áreas mais amplas, que definem a amplitude das células. As áreas de células apresentadas correspondem ao esperado, dada as características do edifício.

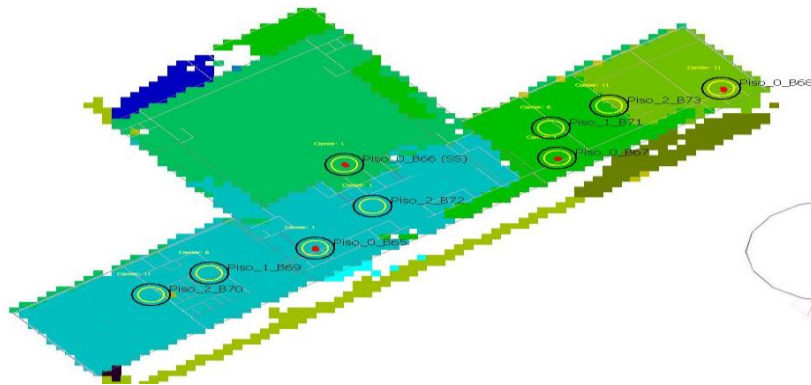


Figura 7.9 - Área das células Piso 0 Edifício B

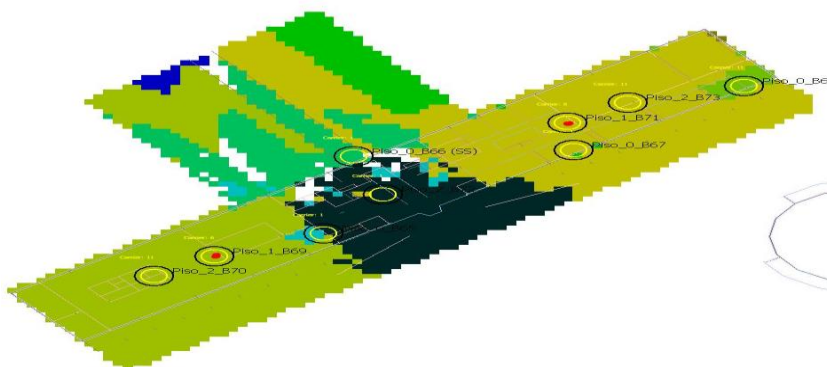


Figura 7.10 - Área das células Piso 1 Edifício B

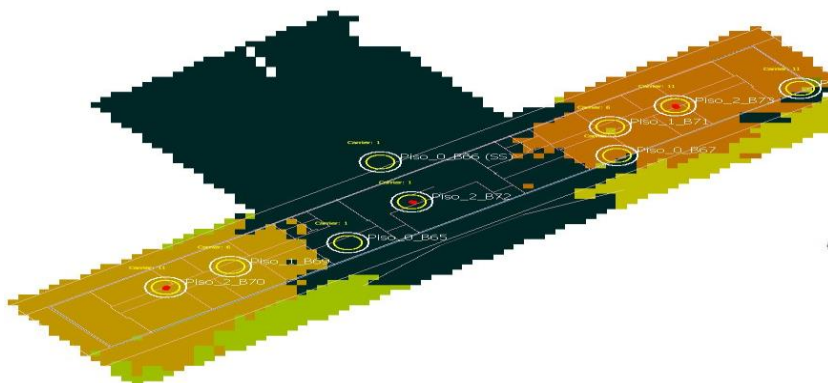


Figura 7.11 - Área das células Piso 2 Edifício B

7.3.2. Número de portadoras recebidas

Analisando as imagens dos três pisos podemos perceber que na maior parte do edifício existem sempre duas portadoras disponíveis. Em algumas zonas apresentam alcance a três portadoras, exemplificado Figura 7.12.

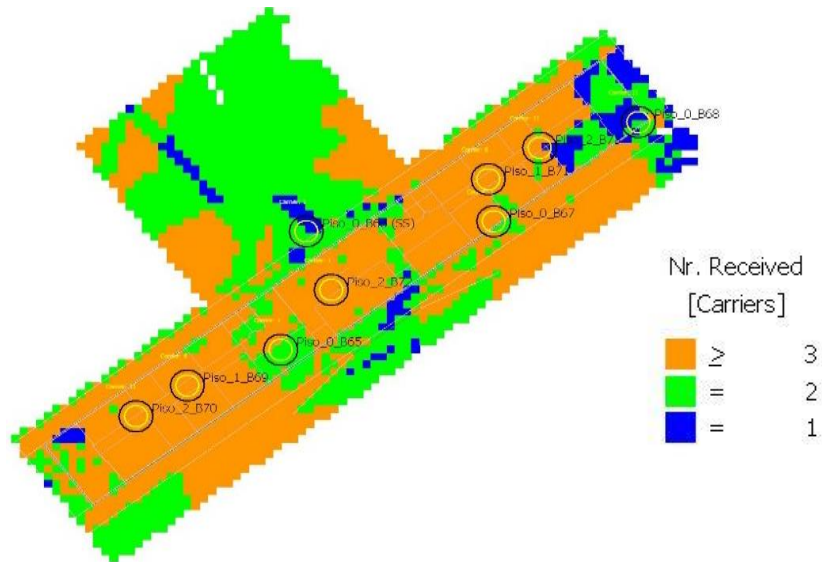


Figura 7.12 - Número de portadoras recebidas no piso 2 do edifício B

7.3.3. Portadora dominante

A análise da portadora dominante permite para saber qual a frequência com o sinal mais forte nas diferentes áreas do edifício. Existem algumas zonas onde se deteta antenas adjacentes radiando a mesma frequência, o que será uma fonte de interferência, situação esta mais notória no piso 0 (Figura 7.13).

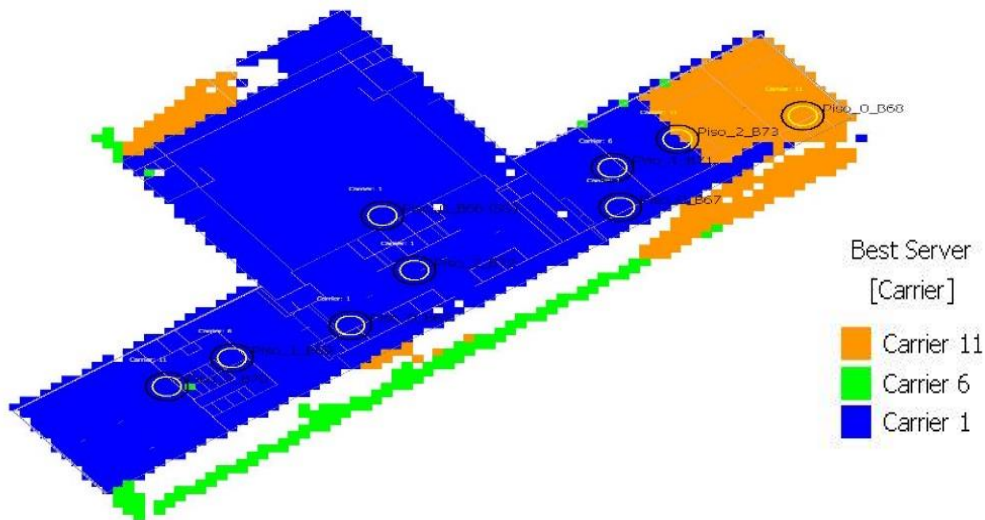


Figura 7.13 - Portadora dominante do piso 0 edifício B

7.3.4. Máximo sinal recebido

Pode-se constatar que a nível de cobertura se consegue em qualquer ponto do edifício, um valor acima dos -85dBm e maioritariamente acima de -75dBm. Na figura seguinte pode-se visualizar o máximo sinal recebido em cada um do piso 1 do edifício B.

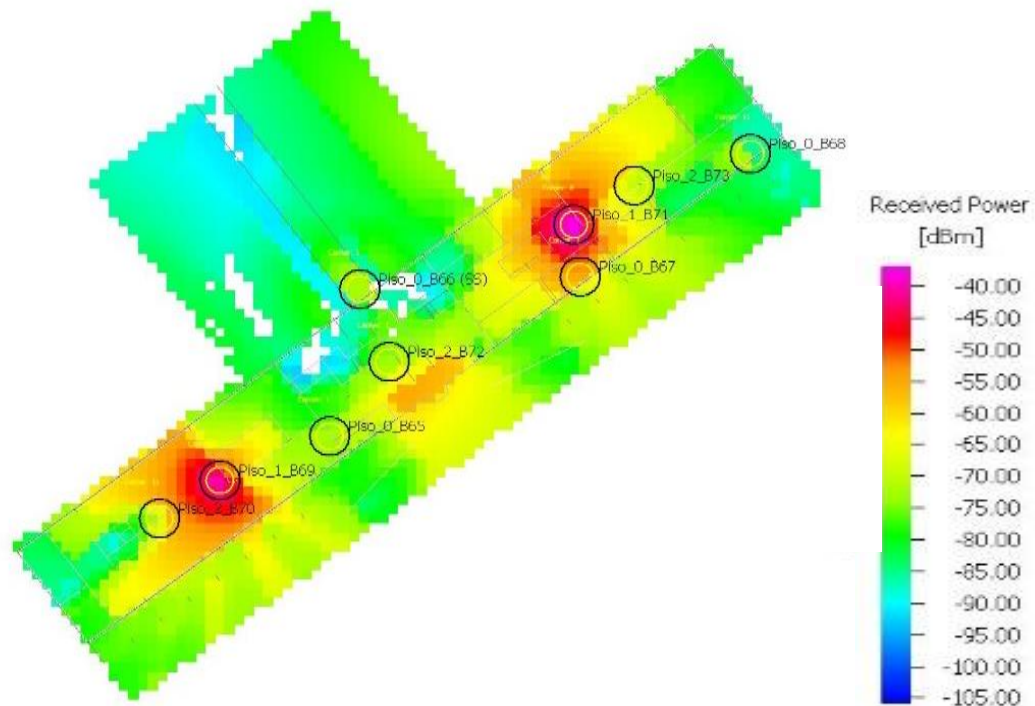


Figura 7.14 - Máximo sinal recebido no piso 1 do edifício B

7.3.5. Análise do SNIR

Neste edifício B, no piso 1 (Figura 7.15) denotam-se valores SNIR baixos, o que indicia a existência de situações que tenham que ser ajustadas. No piso 2 os valores de SNIR são mais satisfatórios, mas mesmo assim, existam zonas que se deva prestar alguma atenção a possíveis ajustes para melhorar estes valores.

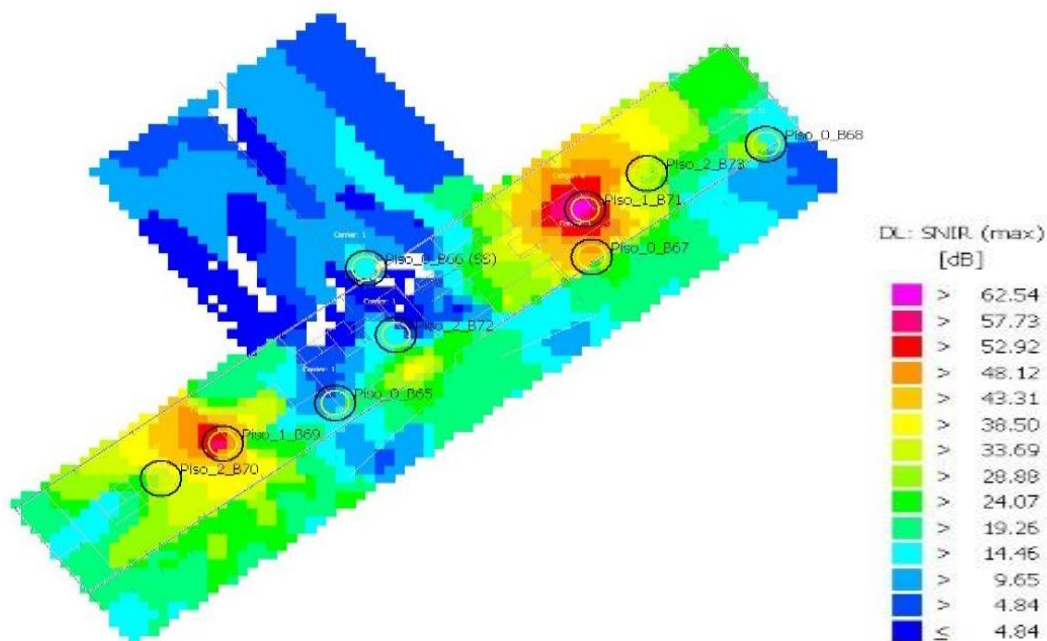


Figura 7.15 - Análise do SNIR do piso 1 edifício B

7.3.6. Máxima taxa de débito binário

Analisando os resultados para as várias velocidades que os equipamentos podem utilizar, de forma geral, os 54Mbit/s conseguem-se fazer atingir no edifício. Existem alguns pontos do edifício que não conseguem atingir esta velocidade ou próximo, mas ainda assim, oferece pelo menos 24Mbit/s.

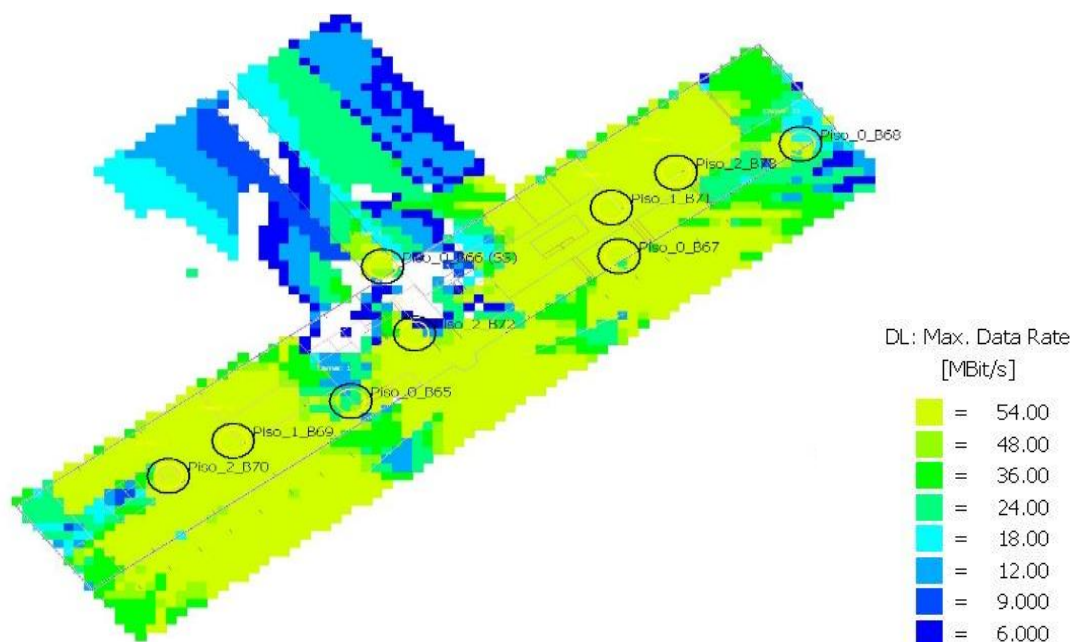


Figura 7.16 - Máximo débito binário do piso 1 edifício B

7.3.7. Análise geral do edifício B

De uma forma geral o edifício B apresenta uma cobertura mínima satisfatória na medida em que apresenta um nível de sinal máximo recebido suficientemente elevado nos vários pontos do edifício. Para além da cobertura apresentada existem alguns locais com algum nível de interferência que podem influenciar o rendimento da rede sem fios, principalmente no piso 0. Existem zonas que são utilizadas para conferências que estão devidamente acompanhadas com a existência de AP's.

7.4. Edifício C

7.4.1. Área das células

Nas figuras abaixo representadas podemos ver a área das células existentes em cada piso correspondentes aos AP's colocados no edifício C. As estações (AP's) pertencentes ao piso de análise estão marcadas com um ponto vermelho. Vamos também dividir este edifício em duas partes. A primeira parte está delimitada na Figura 7.17 com a cor verde, e vamos designá-la de “área IT”. A segunda parte está delimitada na mesma Figura 7.17 com a cor vermelha, e vamos designá-la de “área do refeitório”.

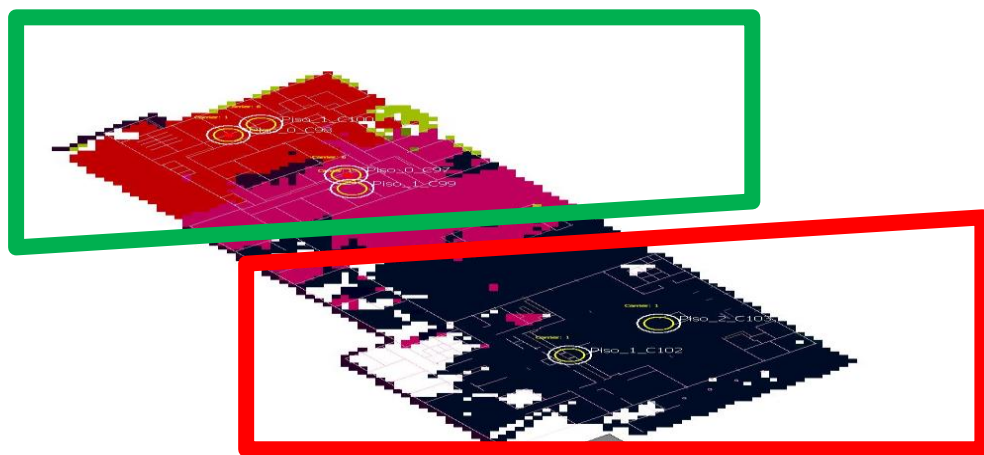


Figura 7.17 - Área das células Piso 0 Edifício C

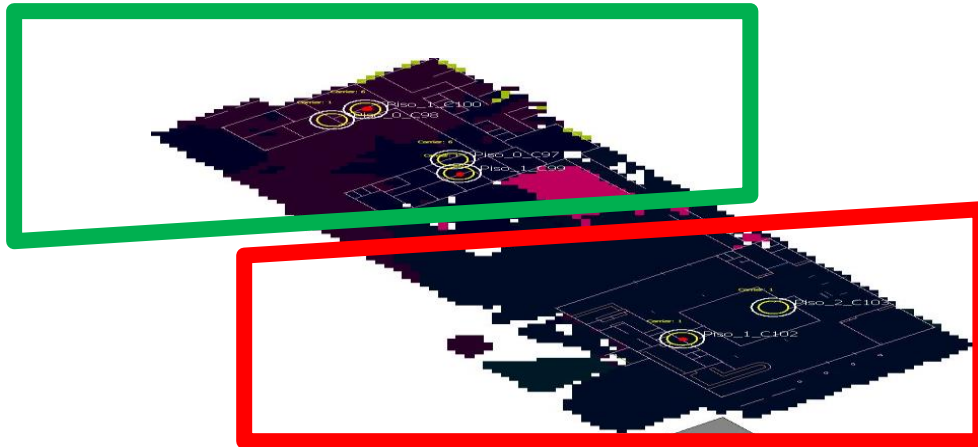


Figura 7.18 - Área das células Piso 1 Edifício C

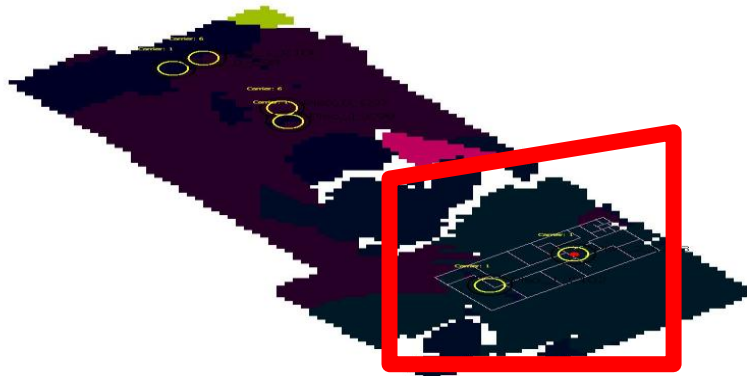


Figura 7.19 - Área das células Piso 2 (Creche) Edifício C

7.4.2. Número de portadoras recebidas

Analisando as imagens dos três pisos podemos perceber que na área IT existem sempre pelo menos duas portadoras acessíveis. Na área do refeitório maioritariamente só existe uma portadora.

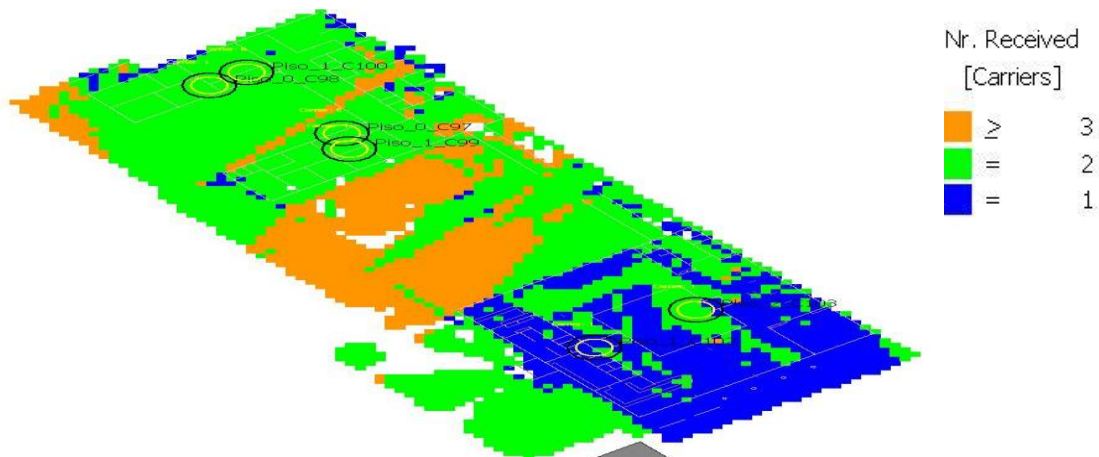


Figura 7.20 - Número de portadoras recebidas no piso 1 do edifício C

7.4.3. Portadora dominante

A análise aos resultados para os 3 pisos permite saber qual a frequência com o sinal mais forte nas diferentes áreas do edifício C. Existem algumas zonas onde se deteta antenas adjacentes radiando a mesma frequência, nomeadamente a área do refeitório, o que será uma fonte de interferência. Na área IT existe distanciamento satisfatório entre antenas com o mesmo canal, mas, sendo uma área relativamente pequena e mesmo não sendo adjacentes, podem estar, ainda assim, relativamente pertos. O canal 11 não foi usado nesta área, e portanto, poderia ser uma mais-valia a sua inclusão, permitindo uma melhor reutilização dos canais.

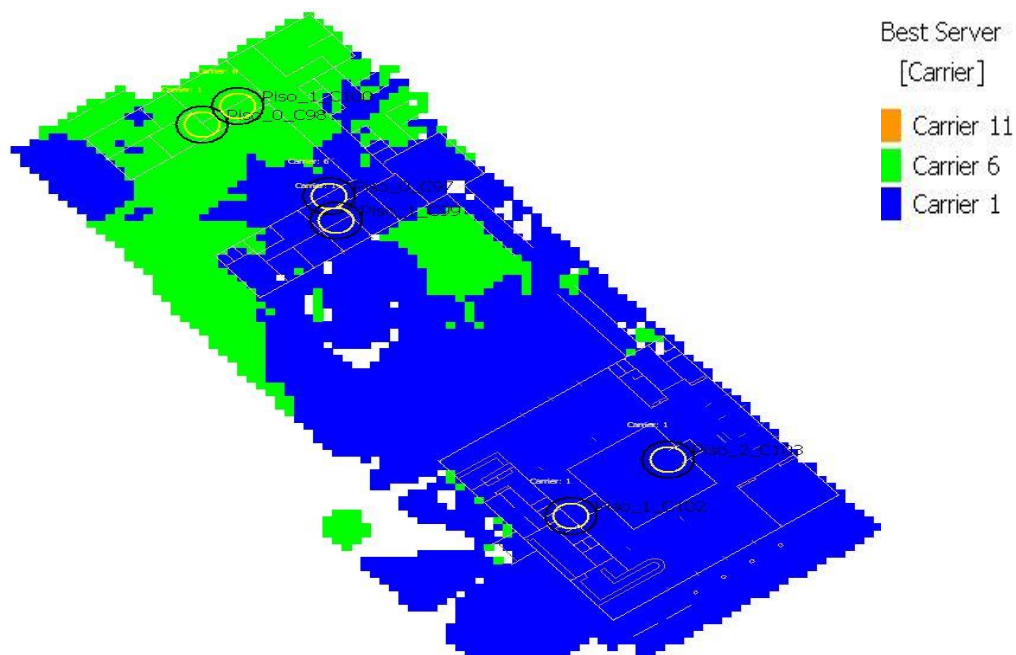


Figura 7.21 - Portadora dominante do piso 1 edifício C

7.4.4. Máximo sinal recebido

Pode se constatar que a nível de cobertura se consegue em qualquer ponto, um valor acima dos -85dBm. Na área IT o nível de sinal recebido varia muito entre os -85dBm e os -45dBm o que mostra que este edifício não mantém um nível de cobertura homogêneo.

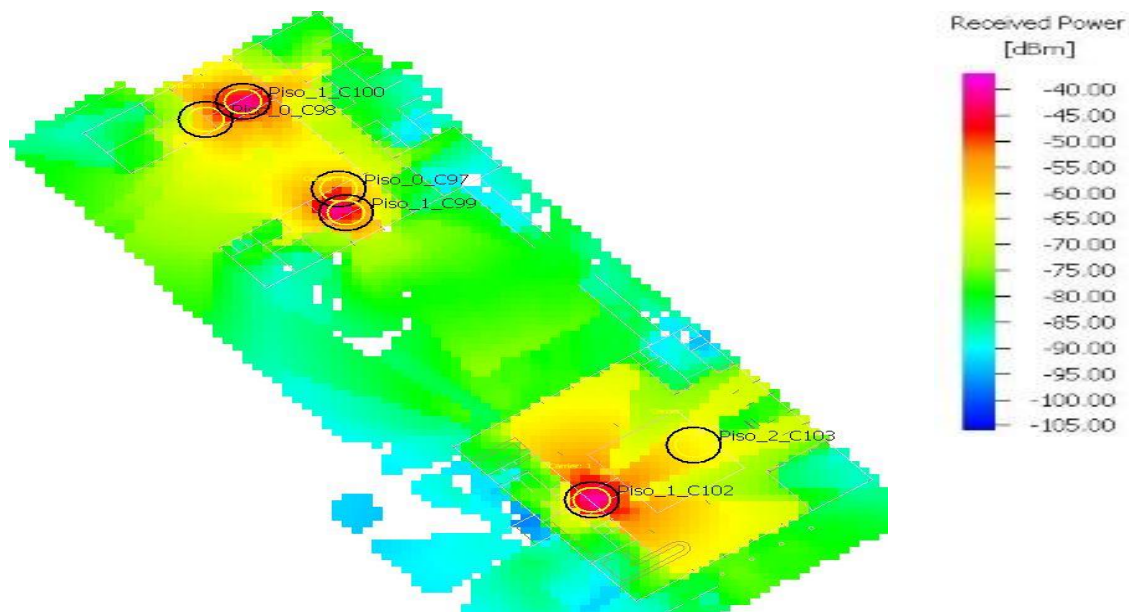


Figura 7.22 - Máximo sinal recebido no piso 1 do edifício C

7.4.5. Análise do SNIR

Nos três pisos denotam-se valores SNIR muito baixos, o que indicia a existência de situações que tenham que ser ajustadas, para reduzir o nível da interferência. Juntando a esta, a análise da portadora dominante, concluímos que existem AP's adjacentes, ou relativamente próximos, com o mesmo canal, o que inevitavelmente provoca um aumento de interferência. Esta interferência intensifica-se rapidamente ao afastarmos-nos dos AP's, como se verifica na simulação do SNIR apresentado na Figura 7.23.

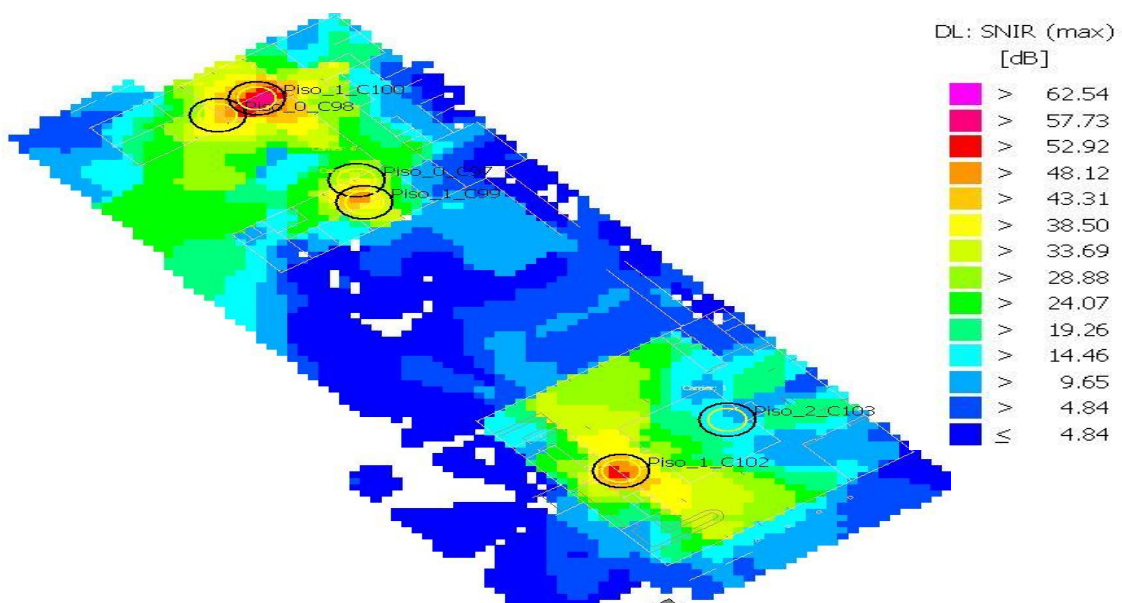


Figura 7.23 - Análise do SNIR do piso 1 edifício C

7.4.6. Máxima taxa de débito binário

Analisando os resultados para as várias velocidades que os equipamentos podem utilizar, de uma forma coincidente, as zonas com menor valor de SNIR correspondem às zonas onde se perde capacidade de se utilizar uma ligação de 54Mbit/s. Portanto este valor é muito pouco uniforme, tanto na área IT como em algumas partes da área do refeitório.

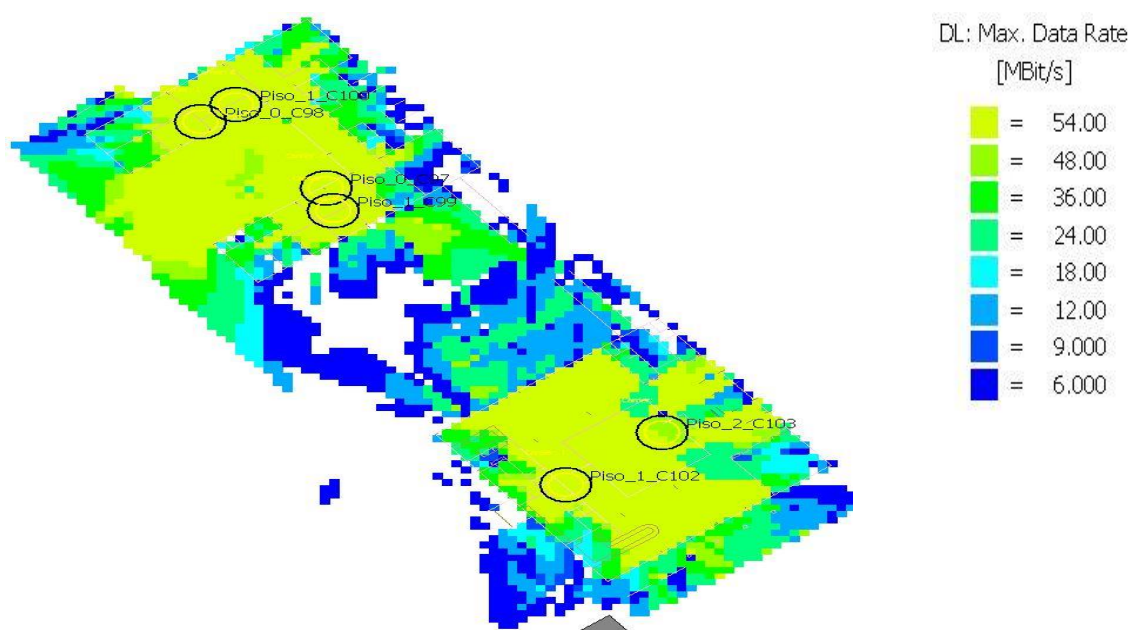


Figura 7.24 - Máximo débito binário do piso 1 edifício C

7.4.7. Análise geral do edifício C

De uma forma geral o edifício C apresenta uma cobertura mínima satisfatória na medida em que apresenta um nível de sinal máximo recebido suficientemente elevado nos vários pontos do edifício. Na área IT de uma forma geral a cobertura é satisfatória, mas poderia ser melhorada aplicando um reajuste na reutilização das frequências portadoras. Na área do refeitório recomenda-se um pequeno ajuste na escolha da portadora de modo a que os dois AP's existentes possam coexistir com um desempenho satisfatório.

7.5. Edifício D

7.5.1. Área das células

Nas figuras abaixo representadas podemos ver a área das células existentes em cada piso. As estações (AP's) pertencentes ao piso de análise estão marcadas com um ponto vermelho. Em cada um dos pisos o tamanho das áreas de cada célula é influenciado pelo tamanho das salas e dos corredores.

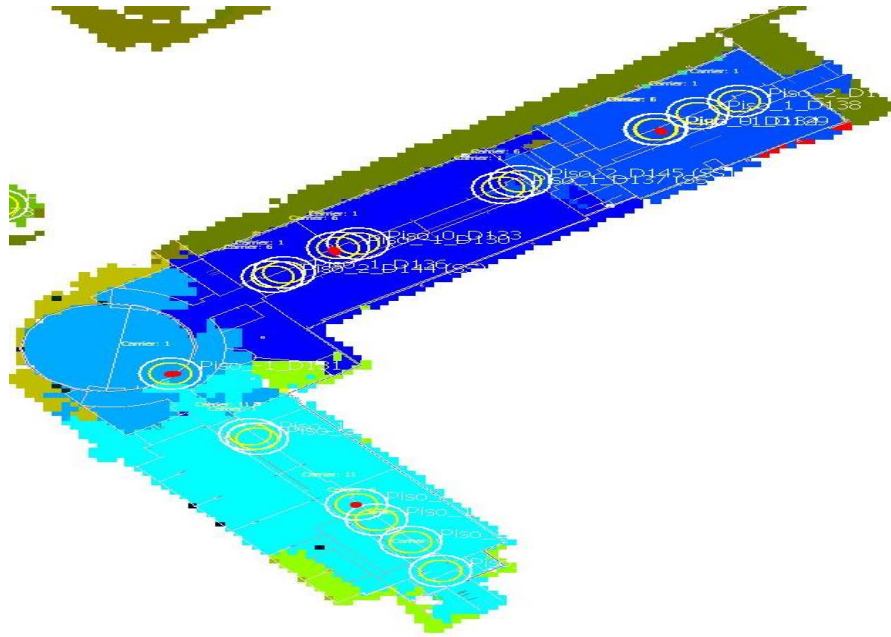


Figura 7.25 - Área das células Piso -1 Edifício D

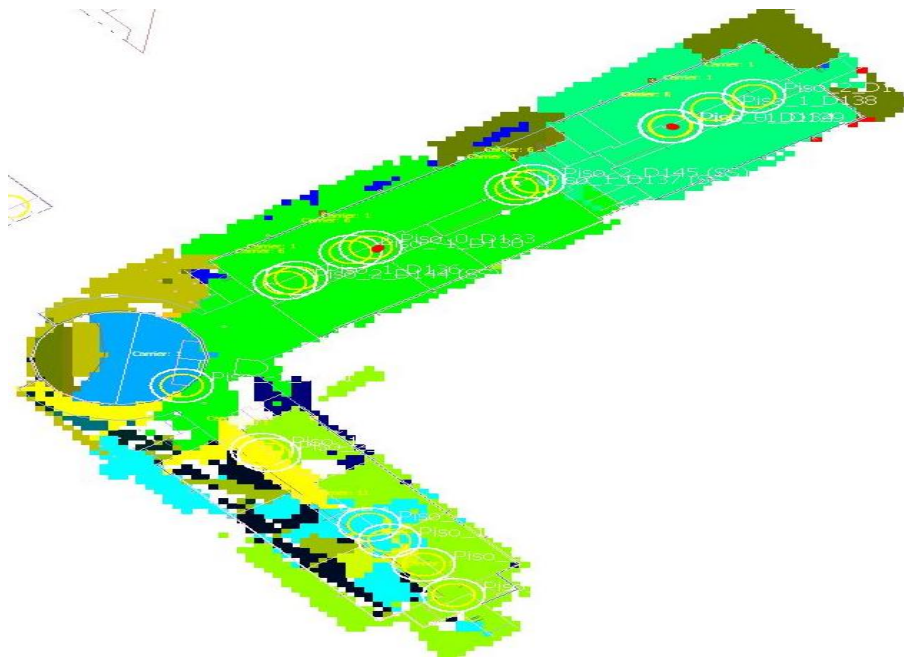


Figura 7.26 - Área das células Piso 0 Edifício D

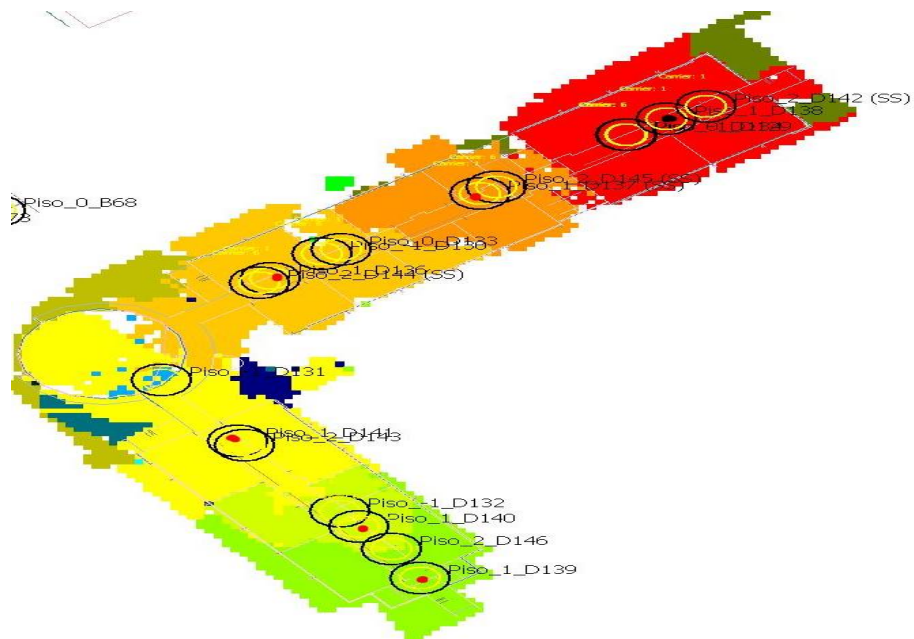


Figura 7.27 - Área das células Piso 1 Edifício D

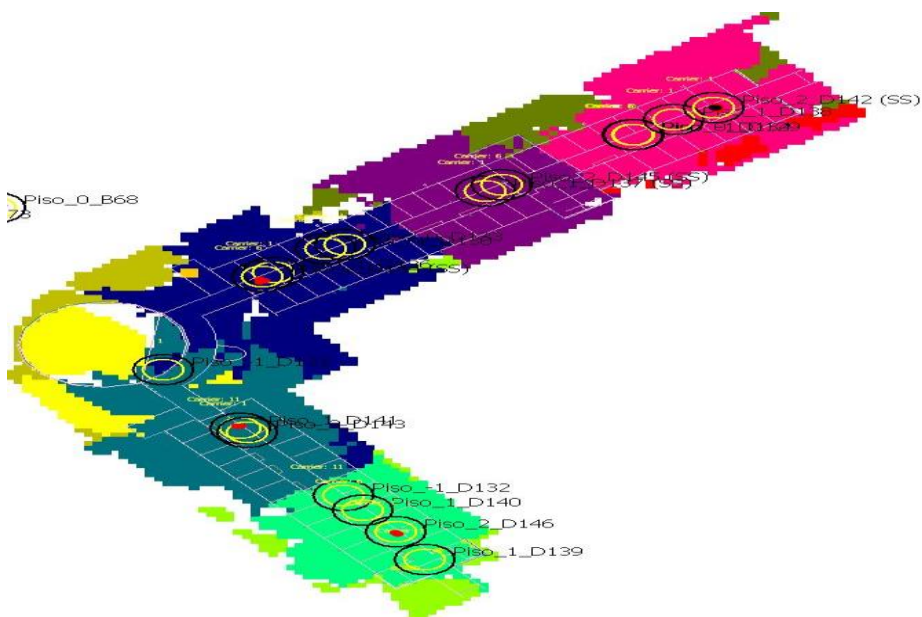


Figura 7.28 - Área das células Piso 2 Edifício D

7.5.2. Número de portadoras recebidas

Analisando os resultados dos quatro pisos, podemos perceber que na maior parte do edifício existem sempre pelo menos duas portadoras acessíveis. Em algumas zonas ainda existem 3 portadoras disponíveis mas existem outras zonas com 1 portadora (Figura 7.29).

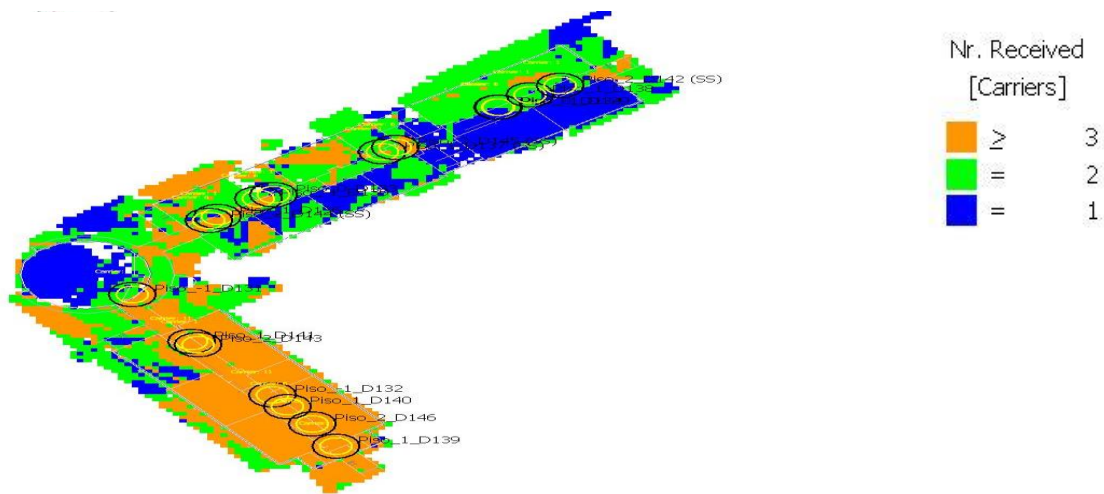


Figura 7.29 - Número de portadoras recebidas no piso 1 do edifício D

7.5.3. Portadora dominante

A análise a que estas figuras (Figura 7.30; Figura 7.31) se referem permite-nos saber qual a frequência com o sinal mais forte nas diferentes áreas do edifício. Existem algumas zonas onde se deteta antenas adjacentes radiando a mesma frequência, o que será uma fonte de interferência. Noutras zonas existe AP's com a mesma portadora e embora não sejam adjacentes têm possivelmente pouco distanciamento entre elas.

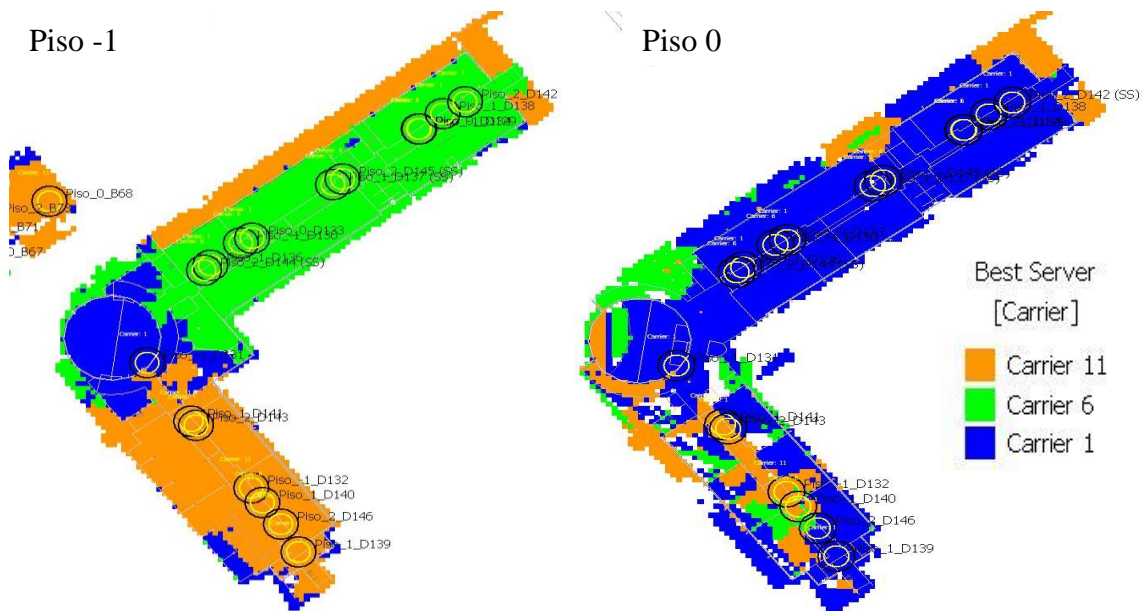


Figura 7.30 - Portadora dominante do piso -1 e piso 0 edifício D

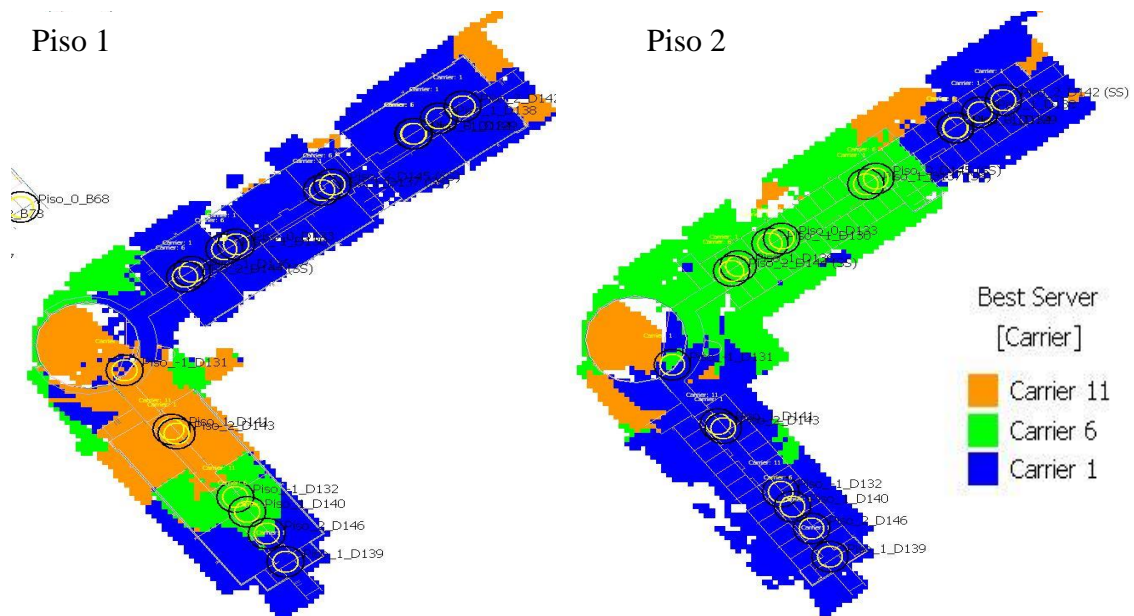


Figura 7.31 - Portadora dominante do piso 1 e do piso 2 edifício D

7.5.4. Máximo sinal recebido

Pode-se constatar que a nível de cobertura se consegue em qualquer ponto, um valor acima dos -85dBm. Nota-se um sinal mais forte nos corredores, propagando-se o sinal para as salas adjacentes, sendo que nas salas, de uma forma geral, se tenha um valor de pelo menos -85dBm.

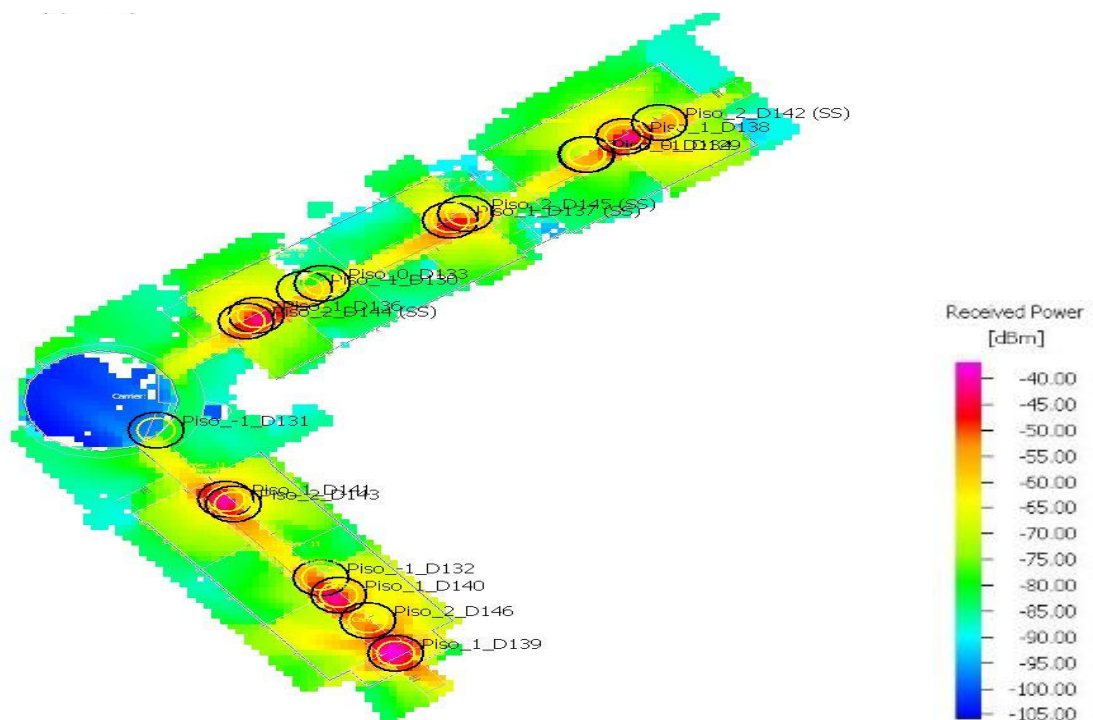


Figura 7.32 - Máximo sinal recebido no piso 1 do edifício D

7.5.5. Análise do SNIR

Apresentamos de seguida a análise do SNIR. Numa análise geral os quatro pisos têm alguns pontos em que se registam valores SNIR muito baixos, o que não é preferencial. Isto indica-nos a existência de situações que tenham que ser ajustadas a nível da interferência. Existem alguns casos de possíveis interferências, devido à existência de AP's adjacentes, ou relativamente próximos com o mesmo canal. Esta interferência intensifica-se rapidamente ao afastarmo-nos dos AP's, como se verifica na simulação do SNIR apresentado na Figura 7.33.

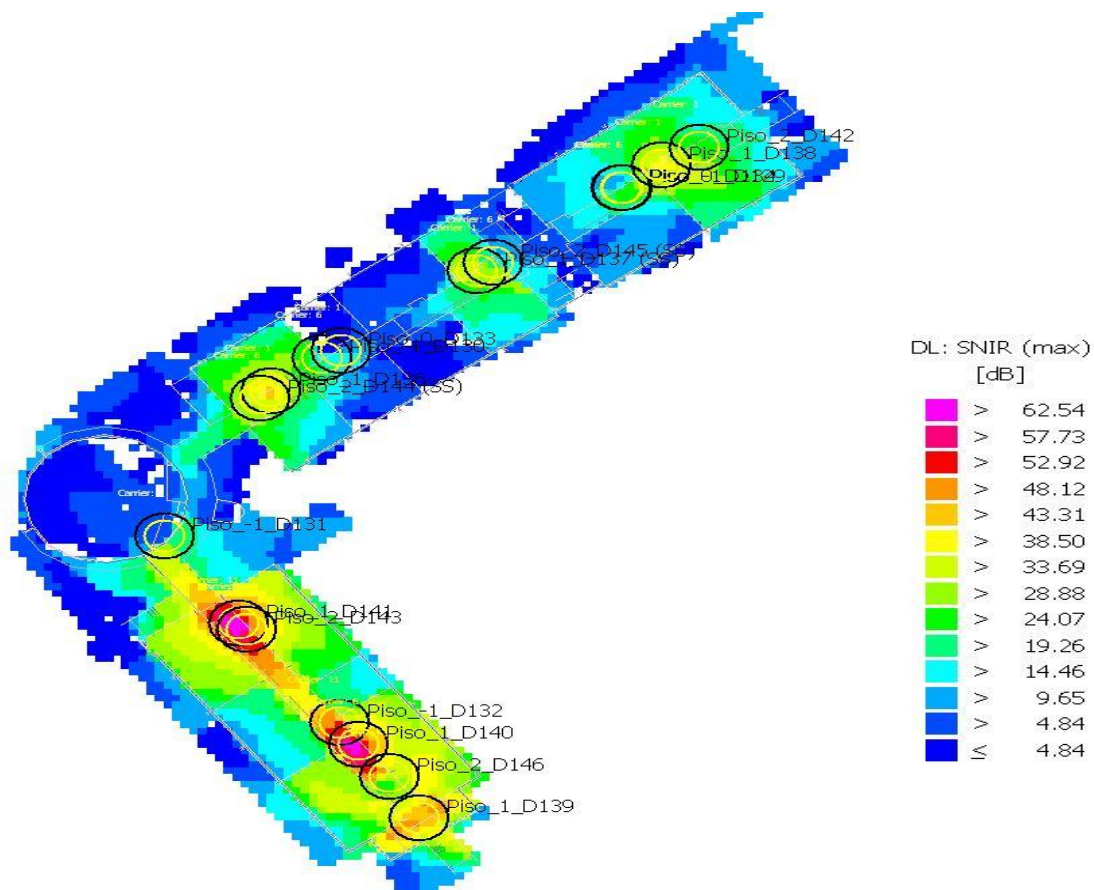


Figura 7.33 - Análise do SNIR do piso 1 edifício D

7.5.6. Máxima taxa de débito binário

As figuras seguintes apresentam resultados para as várias velocidades que os equipamentos podem utilizar. De uma forma geral, temos a área do edifício mais ou menos coberta com a máxima taxa de débito binário, embora, no piso 0 haja zonas que não estejam cobertas.

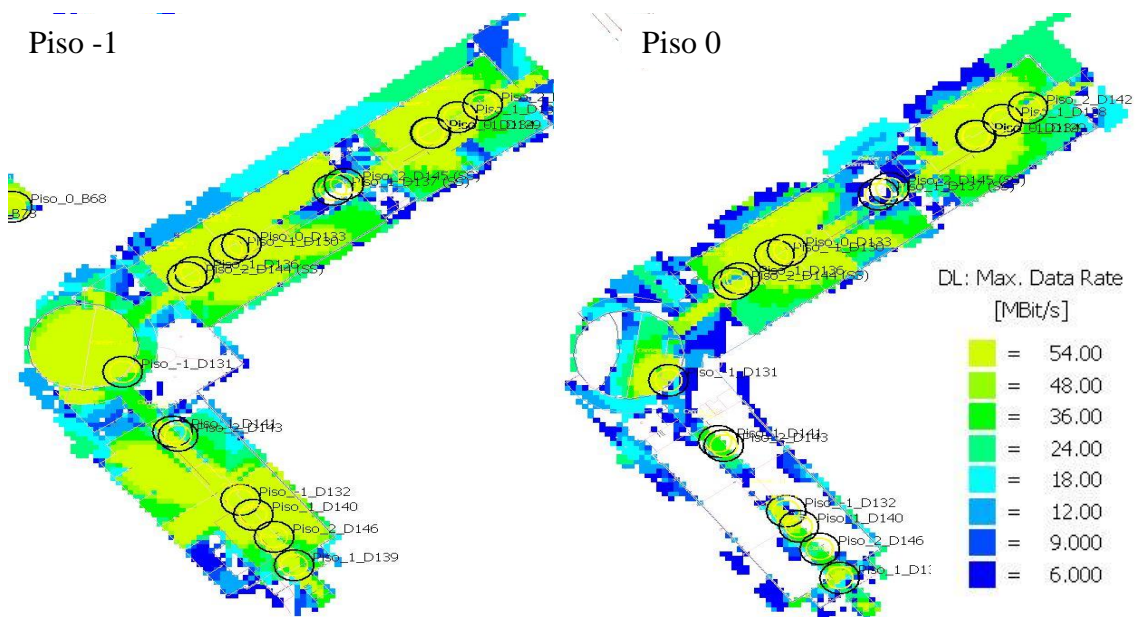


Figura 7.34 - Máximo débito binário do piso -1 e piso 0 edifício D

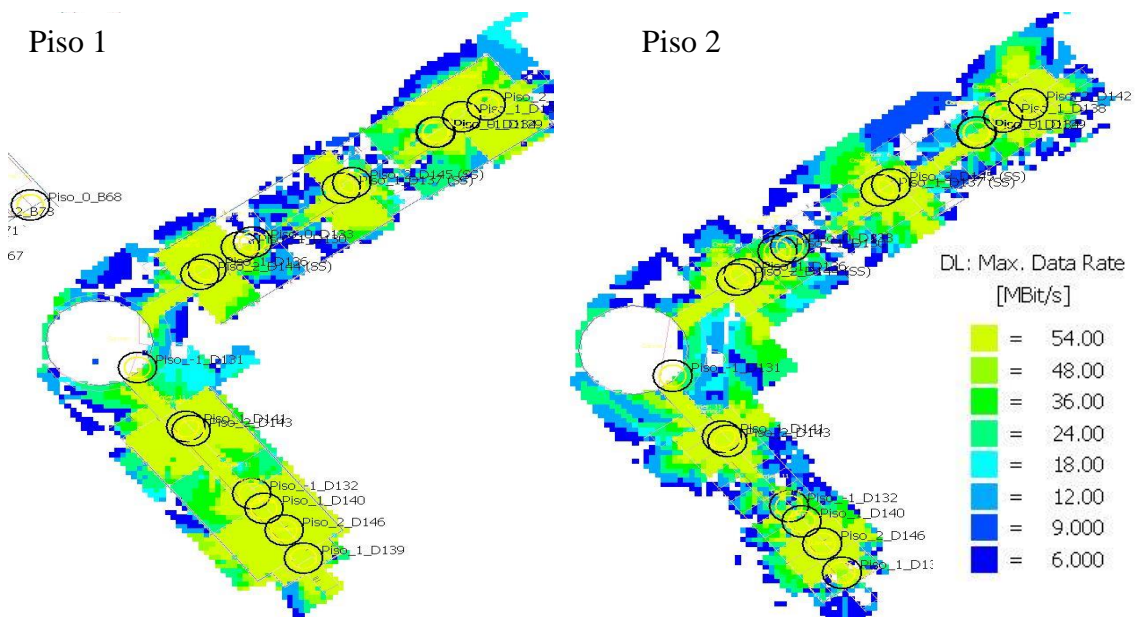


Figura 7.35 - Máximo débito binário do piso 1 e piso 2 edifício D

7.5.7. Análise geral do edifício D

De uma forma geral o edifício D apresenta uma cobertura mínima satisfatória na medida em que apresenta um nível de sinal máximo recebido suficientemente elevado nos vários pontos do edifício. Podemos dizer que de uma forma geral a cobertura é satisfatória, mas poderia ser ajustada aplicando um reajuste na utilização de frequências portadoras, considerando adicionalmente, que os pisos intermédios possam ser influenciados por emissores de pisos adjacentes, tanto do piso inferior como do piso superior. Este edifício possui uma zona de conferências que poderia ser reforçado, tendo em conta que são áreas que podem ter um elevado número de utilizadores com necessidades de tráfego mais exigente. Existe também uma sala de acesso livre, que diariamente é utilizado por alunos para utilização própria, o que incentiva a colocação de um reforço de canais de modo a alterar a capacidade da rede sem fios nessa zona.

7.6. Exterior do *Campus*

O exterior dos edifícios desta área escolar é, praticamente, zona de estacionamento. Possivelmente não é uma zona onde possa ser considerada importante impor uma boa cobertura. Estas zonas exteriores acabam por ser zonas de passagem, e portanto, o critério de capacidade de rede pode não ser significativo. Para análise, vamos dividir a área exterior em 2 partes, a área norte, que fica entre o edifício A e D e a área sul que fica entre o edifício B, C e D. Na Figura 7.36 pode-se visualizar a área exterior norte que está delimitada com a cor vermelha e a área exterior sul com a cor laranja.

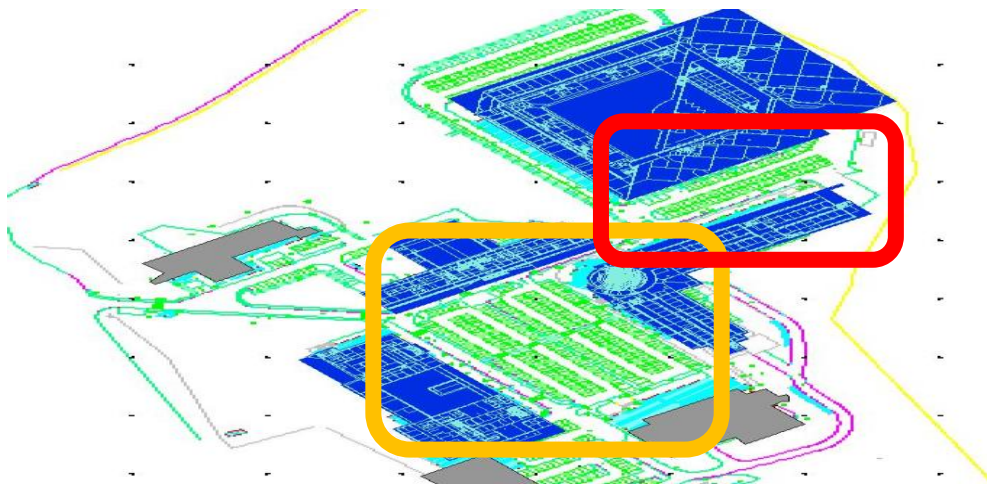


Figura 7.36 – Indicação das 2 áreas exteriores em análise

Neste *Campus* escolar não existem antenas colocadas no exterior. Portanto, o serviço de rede existente, como por exemplo, a área dos estacionamentos, é obtido a partir das antenas interiores já existentes e que, em conjunto, acabam por fornecer alguma cobertura ao

exterior. A análise seguinte mostra as características existentes neste espaço exterior a nível de cobertura e de capacidade, tanto na área exterior norte como na área exterior sul.

7.6.1. Máximo sinal recebido e nível do SNIR na área exterior norte

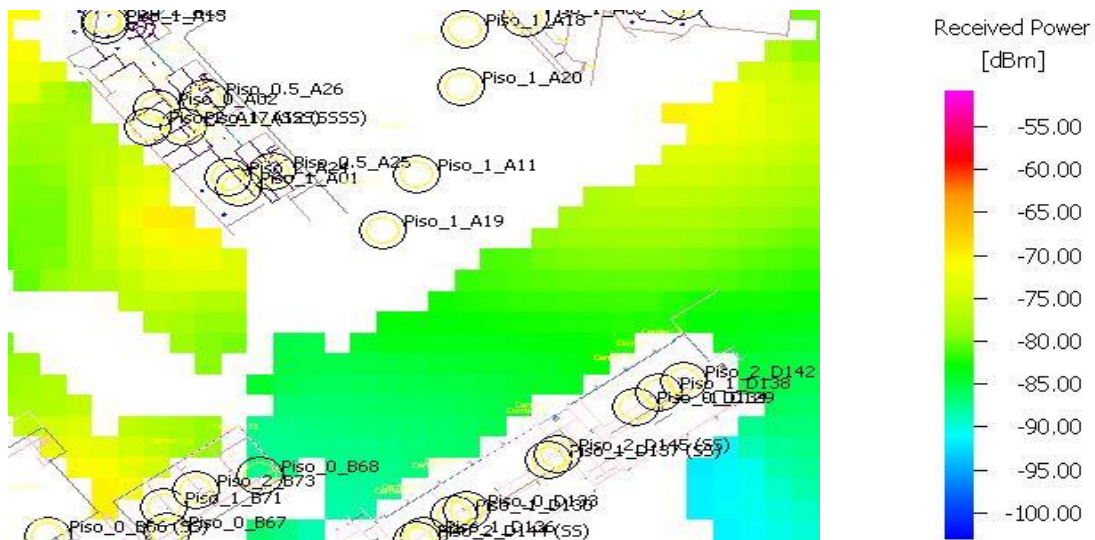


Figura 7.37 - Máximo sinal recebido na área exterior norte do *Campus*

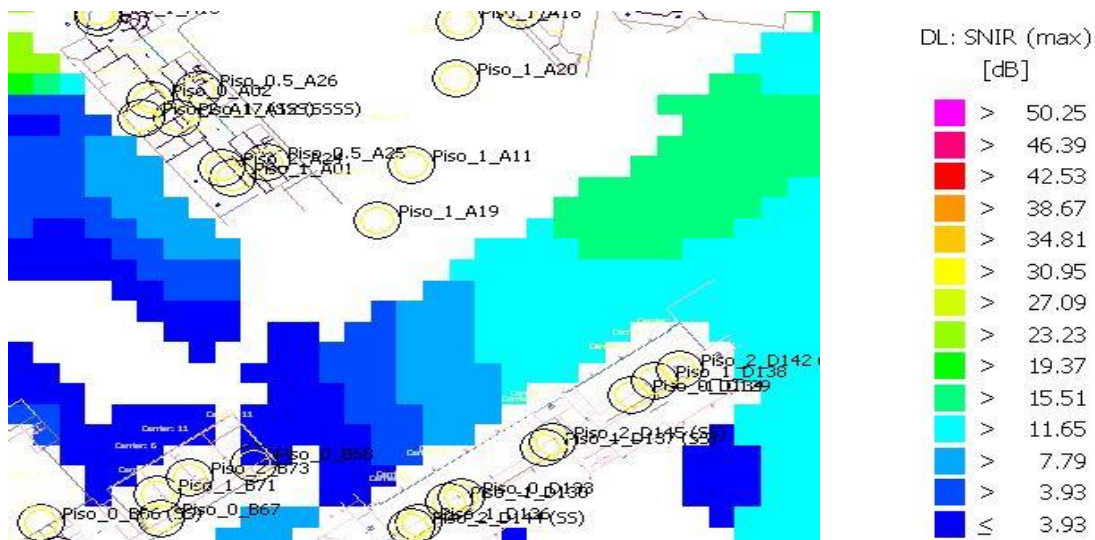


Figura 7.38 – Máximo SNIR na área exterior norte do *Campus*

7.6.2. Máximo sinal recebido e nível do SNIR na área exterior sul

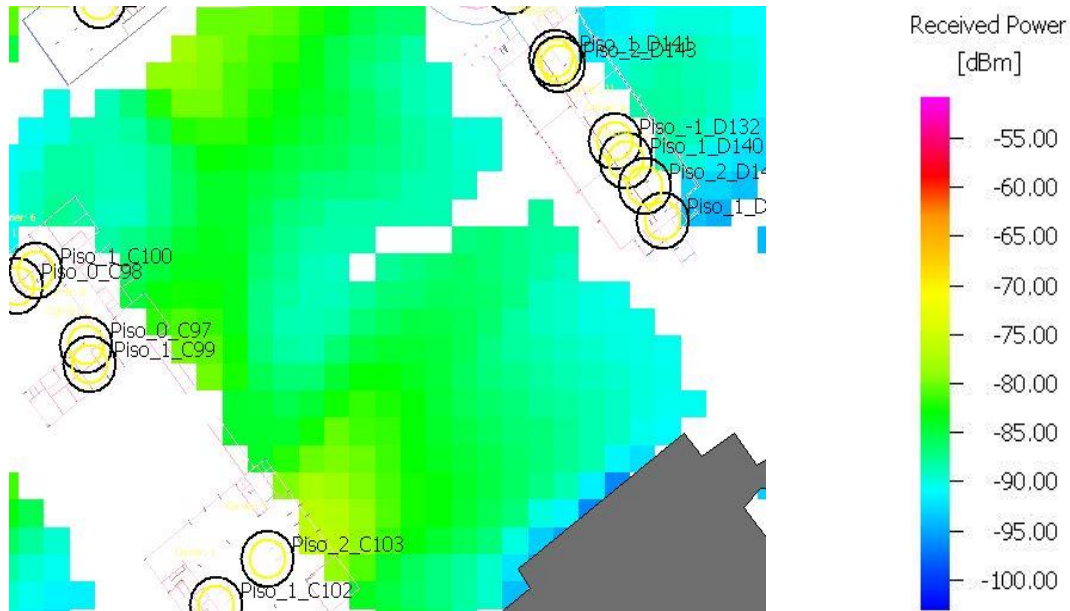


Figura 7.39 - Máximo sinal recebido na área exterior sul do Campus

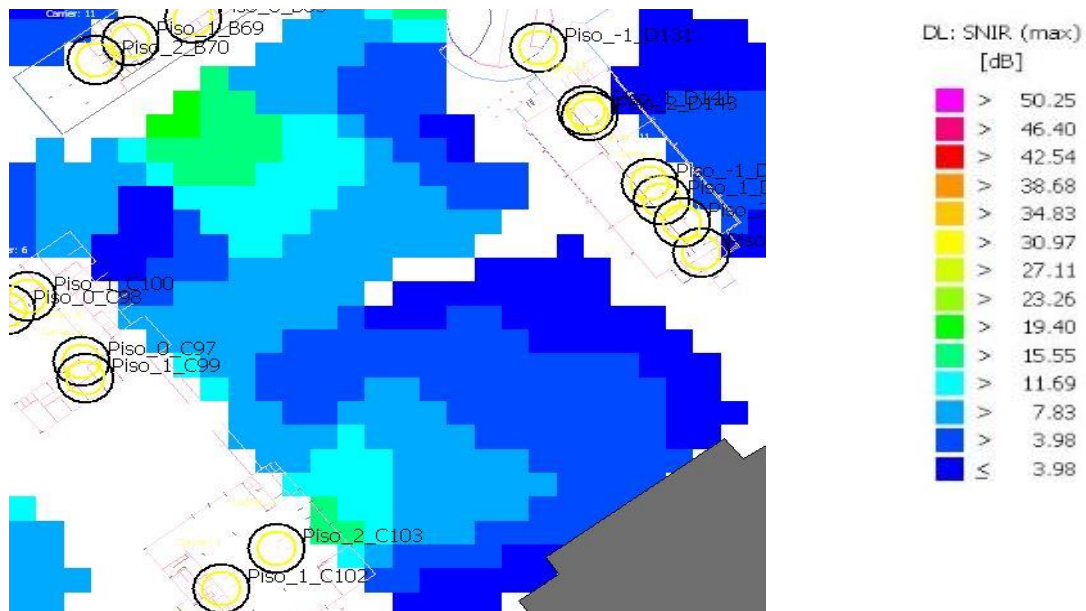


Figura 7.40 – Máximo SNIR na área exterior sul do Campus

7.6.3. Análise geral do exterior do *Campus*

De uma forma geral o exterior do *Campus* apresenta uma cobertura muito reduzida, não satisfatória, na medida em que apresenta um nível de sinal máximo recebido com valores muito baixos. Qualquer ação de melhoria teria que ser analisada no sentido de perceber, até que ponto é necessário criar uma cobertura para estas zonas. As necessidades de tráfego nunca irão ser exigentes, mas os serviços móveis podem ter que ser usados em qualquer ponto, seja interior ou exterior.

7.7. Aferição prática da cobertura

Foram efetuadas medições do nível de potência recebida em localizações aleatoriamente definidas, de modo a quantificar as diferenças que possam existir entre os valores simulados e os valores reais.

As medições foram realizadas recorrendo a um smartphone, utilizando uma aplicação denominada de “Wi-fi Analyzer”. Todos os valores medidos, através de gráficos da potência de sinal estão colocados no anexo I. Apresentamos uma exemplo das medições realizadas (Tabela 7.2) e a tabela com os valores medidos e comparando com os valores simulados (Tabela 7.3).

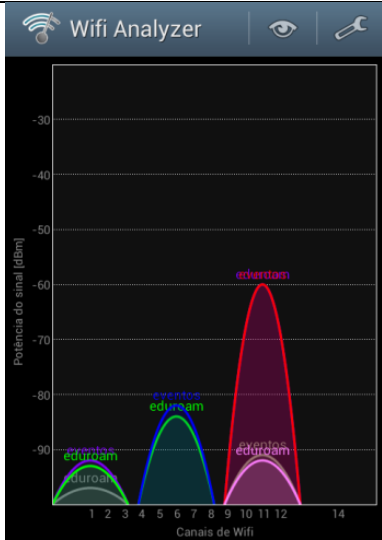
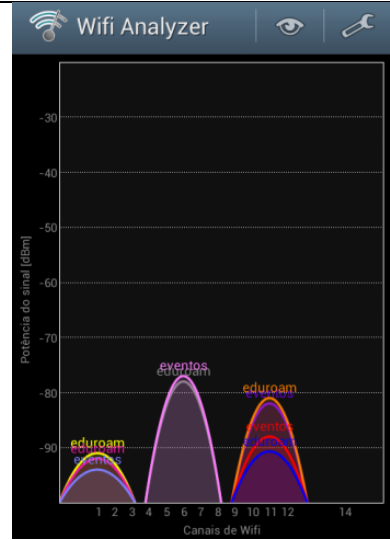
Ponto de localização	4	5
Simulado [dBm]	-60 dB	-75 dB
Medição		
Valor Medido [dBm]	-61 dB/	-77 dB

Tabela 7.2 - Exemplo das medições realizadas

Ponto de localização	Valores simulados [dBm]	Valores medidos [dBm]	Diferença
1	-70	-68	2
2	-74	-72	2
3	-75	-78	3
4	-60	-61	1
5	-75	-77	2
6	-60	-62	2
7	-75	-75	0
8	-68	-71	3
9	-70	-75	5
10	-78	-88	10
11	-62	-62	0
12	-82	-86	4
13	-74	-77	3
14	-73	-73	0
15	-75	-72	3
16	-67	-69	2
17	-80	-80	0
18	-90	-89	1
19	-90	-90	0
20	-83	-80	3
21	-70	70	0
22	-80	-83	3
23	-91	-92	1
24	-51	-51	0
25	-63	-63	0
26	-76	-82	6
27	-55	-54	1
28	-88	-88	0
29	-90	-88	2
30	-65	-71	6
31	-82	-82	0
32	-67	-66	1
33	-68	-75	7
34	-58	-58	0
35	-45	-46	1

Tabela 7.3 - Comparação entre valores simulados e medidos

Aplicando a média da diferença entre os valores disponibilizados pelo simulador e os valores medidos, temos um acumulado de diferenças de 74 para 35 amostras. Portanto, temos uma satisfatória média de margem de erro de 2,11 dBm.

8.1. Sumário

O planeamento de infraestruturas de redes Wi-Fi considera vários aspetos (cobertura, densidade de tráfego, interferência, minimização de custos) e, portanto, é uma tarefa difícil, se for feito manualmente.

O objetivo deste trabalho foi criar uma base de dados representativa do *Campus 2* do Instituto Politécnico de Leiria, sobre o qual podem ser aplicadas diversas simulações de implementação de estrutura de rede sem fios. Esta base de dados também poderá servir de base em aplicações em atividade letivas, onde seja necessário consolidar conhecimentos e obter competências no âmbito dos estudos de propagação e antenas, planeamento e otimização de redes sem fios, atuais e futuras.

Foi efetuada uma descrição da ferramenta de planeamento *Winprop*, incluindo os vários módulos, bem como a descrição do modelo de propagação de ondas eletromagnéticas utilizado.

Foi realizado um levantamento das características do espaço escolar, das características dos edifícios, auxiliado pelas plantas disponibilizadas pelos serviços técnicos competentes da Escola. De seguida iniciou-se a tarefa mais demorada deste projeto, que foi a construção de cada um dos edifícios, de modo a obter um modelo 3D corresponde à realidade de toda uma área escolar, seja a parte exterior aos edifícios, seja a parte interior dos edifícios. Este processo foi realizando recorrendo ao *Wallman*.

Após a conclusão do processo mais exigente ao nível de tempo útil, o passo seguinte foi o levantamento da rede sem fios atualmente existente no *Campus 2* e tentar perceber e conhecer as suas características, com o conceito de que, devido à evolução das tecnologias, provavelmente num futuro próximo poderá estar desenhada e necessite de ser ajustada em termos de serviços oferecidos.

Posteriormente, foram efetuadas diversas simulações de desempenho da rede instalada, através do módulo *Proman*. Primeiramente, foram descritas técnicas de planeamento de redes móveis 802.11, e de seguida foi criado um projeto utilizando as bases de dados criadas no *Wallman*, utilizando a configuração das diferentes parametrizações da rede sem fios. Após a fase de configuração do projeto no *Proman*, foram efetuadas as simulações no cenário com o modelo DPM. Os indicadores de desempenho analisados, considerados mais relevantes no âmbito deste estudo, foram: a área das células; o número de portadoras recebidas; a portadora predominante; o máximo de sinal recebido; a análise do SNIR; a máxima taxa de débito; e a probabilidade de receção para uma velocidade de 24Mbits/s.

Tendo por base uma aferição prática do nível de cobertura, foi possível concluir que os resultados obtidos por simulação, na maioria dos casos, estão em concordância com as medidas efetuadas, o que face à complexidade do cenário estudado, valida e enaltece o trabalho realizado no âmbito desta dissertação.

8.1. Resultados

A plataforma de simulação desenvolvida no âmbito desta dissertação será uma ferramenta indispensável, sobretudo aos serviços técnicos competentes da ESTG, para a otimização da rede sem fios instaladas no *Campus*, com maior predominância da rede Wi-Fi e DECT. Através da utilização das plantas dos edifícios criadas bem como da implantação destas nos mapas topográficos do *Campus*, será possível identificar, em sede de planeamento e/ou otimização da rede, eventuais problemas de cobertura e de capacidade da rede, o que se torna cada vez mais premente, decorrente do crescimento daquela face ao aumento de estudantes que cada vez mais recorrem aos seus computadores portáteis e dispositivos móveis para acederem a conteúdos pedagógicos e atividades conexas.

Por último, e não menos importante, a ferramenta agora criada será instrumental no ensino das telecomunicações na ESTG, sobretudo para as unidades curriculares de Comunicações Móveis (1º ciclo) e Planeamento de Redes Celulares (2º ciclo), permitindo aos estudantes fazerem o estudo e implementação de novos sistemas rádio, não só redes celulares, mas também redes locais e redes de sensores, em que a diversidade do canal de propagação é crítico para a escolha da tecnologia adequada bem como o necessário e adequado planeamento do sistema a instalar. Releva-se ainda possibilidade de estender o presente estudo ao mapa 3D da cidade de Leiria, anteriormente criado no âmbito de um projeto final de curso, numa área total de 9km². A conjugação do mapa e plantas do *Campus 2* com o mapa da cidade potenciará, no futuro, o desenvolvimento de novos sistemas e serviços baseados em redes sem fios.

8.2. Trabalho futuro

Sendo o *Campus 2* uma área escolar, tendencialmente os dispositivos móveis irão aumentar, reduzindo significativamente a utilização de equipamentos fixos. Isto vai exigir cada vez mais das redes sem fios.

Este projeto vai facilitar o processo de melhoramento da rede existente através da criação de uma ferramenta que permite a implementação de uma tecnologia alternativa, que possa inclusive trabalhar em conjunto a rede sem fios existentes.

Uma tecnologia que atualmente esta a emergir é Long Term Evolution (LTE). A LTE é uma tecnologia em que o seu interface radio foi concebido baseando no OFDMA para o

downlink e SC-FDMA para o uplink por 3GPP. Foi criado como sendo um salto na evolução do sistema móvel 3G adicionando um aumento de provisionamento, impondo um aumento das taxas de débito binário e uma maior capacidade de cada célula [26]. Esta tecnologia, para melhorar o seu desempenho, permite a introdução no sistema de “picocells” e “femtocells”, equipamentos de aplicação interior ou de curto alcance e economicamente eficientes, portanto, ideais para utilização hotspot. Muitas marcas já apresentam estes picocells com funcionamento LTE integrando simultaneamente a interface de rede IEEE 802.11.

Esta plataforma genérica, facilitará o planeamento de cobertura, que se mantém como o passo mais crítico, através de uma simulação de uma estimativa baseada em requisitos de cobertura e de modo a atingir requisitos de capacidade [27].

Os parâmetros das propriedades elétricas dos materiais dos objetos da base de dados construída já prevê as frequências gerais de funcionamento das redes LTE, assim como as alocadas à norma IEEE 802.11, não estando limitado a estas.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Referências

- [1] **Gast, Matthew** (2005) “802.11 Wireless Networks: The Definitive Guide”
- [2] **Cisco Systems, Inc.** (2001) “Wireless LAN Design Guide for High Density - Client Environments in Higher Education”
- [3] **Forte, Andrea G. e Schulzrinne, Henning** (2008) “Deployment Guidelines for Highly Congested IEEE 802.11b/g Networks”
- [4] **Juniper Networks inc.** (2011) “Coverage or Capacity—Making the best use of 802.11n”, White paper
- [5] **Tom carpenter** (2007) “CWNA Certified Wireless Network Administrator. Official Study Guide”, Mcgraw-Hill
- [6] **Coleman, David D. e Westcott, David A.** (2012) “CWNA Certified Wireless Network Administrator Study Guide”, Wiley Publishing Inc.
- [7] **Aerohive Networks Inc.** (2012) “High-Density Wi-Fi Design Principles”, White Paper
- [8] **Cisco Systems, Inc.** “Deploying High Capacity Wireless LANs – Cisco Aironet 1200 Series”
- [9] **Wertz P., Sauter M. e Landstorfer F. M., Wölfle G., R. Hoppe.** “Automatic Optimization Algorithms for the Planning of Wireless Local Area Networks”
- [10] **Rappaport Theodore S.** (2002) “Wireless Communications: Principles and Practice”, Prentice Hall

- [11] “Deploying High Density Wi-Fi Design And Configuration Guide For Enterprise”
- [12] **Awe Communications, GmbH** (2003) “*Proman* User Manual”
- [13] **Awe Communications, GmbH** (2012) “*Wallman* User Reference Guide”
- [14] **Awe Communications, GmbH** (2006) “An Introduction to 3G Monte-Carlo simulations within *Proman*”
- [15] **Aschrafi, A., Wertz, P., Layh, M., Landstorfer, F.M., Wölfle, G. e Wahl, R.** (2006) “Impact of Building Database Accuracy on Predictions with Wave Propagation Models in Urban Scenarios”
- [16] **Wahl, René e Wölfle, Gerd** (2006) “Combined Urban And Indoor Network Planning Using The Dominant Path Propagation Model”
- [17] **Hoppe, R., Wertz, P., Wölfle, G. e Landstorfer, F. M.** (2000) “Consideration of Topography for Wave Propagation Modeling in Urban Scenarios”
- [18] <https://maps.google.pt/> Ligação consultada em Março de 2014
- [19] **Dias, António Baio.** (2002) “Construção em tijolo cerâmico: das exigências normativas do produto à prática de aplicação”
- [20] http://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/wireless/aironet-1100-series/product_data_sheet09186a00800f9ea7.pdf “Cisco Aironet 1100 Series Access Point Datasheet”
Ligação utilizada em Março de 2014

[21] **Cisco Systems, Inc.** (2008) “Channels and Maximum Power Settings for Cisco Aironet Lightweight Access Points”

[22] http://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/collaboration-endpoints/unified-ip-phone-7900-series/product_data_sheet0900aecd8031c844.pdf “Cisco Aironet 1240G Series Access Point Datasheet” Ligação utilizada em Março de 2014

[23] http://dds.cr.usgs.gov/srtm/version2_1/Documentation/Continent_def.gif Ligação utilizada em Março de 2014

[24] **AWE Communications GmbH.** (2011) “WLAN Planning in *Winprop*”

[25] http://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/wireless/aironet-802-11a-b-g-cardbus-wireless-lan-client-adapter-cb21ag/product_data_sheet09186a00801ebc29.pdf “Cisco Aironet 802.11A/B/G Wireless CardBus Adapter Datasheet” Ligação utilizada em Março de 2014

[26] **Yilmaz, Osman Nuri Can.** “Self-Optimization of Coverage and Capacity in LTE using Adaptive Antenna Systems”

[27] **Syed , Abdul Basit.** (2009) “Dimensioning of LTE Network Description of Models and Tool, Coverage and Capacity Estimation of 3GPP Long Term Evolution Radio Interface”

[28] **Holma H. e Toskala A.** (2010) “WCDMA for UMTS: HSPA Evolution and LTE”, John Wiley & Sons

[29] **Serra, Pedro e Rodrigues, António** (2013) “Picocell Positioning in an LTE Network”

[30] **Holma, H. e Toskala, A.** (2009) “LTE for UMTS: OFDMA and SC-FDMA based radio access”, John Wiley & Sons

[31] **Salo, J., Nur-Alam, M. e Chang, K.** (2010) “Practical Introduction to LTE Radio Planning”

A. Tabela excel com os valores das propriedades elétricas dos materiais

Material	Thickness [m]	Frequency [MHz]	Reflection Loss [dB]	Transmission Loss [dB]	ϵ_r'	ϵ_r''	Conductivity [S/m]
Betão							
Concrete	0,02	450	7,51	1,93	6	0,7	0,0175
	0,02	800	7,51	2,11	6	0,7	0,0311
	0,02	1500	7,51	2,47	6	0,7	0,0583
	0,02	1800	7,51	2,63	6	0,7	0,0700
	0,02	2400	7,51	2,94	6	0,7	0,0933
	0,02	3500	7,51	3,51	6	0,7	0,1361
	0,02	5320	7,51	4,46	6	0,7	0,2069
Concrete	0,2	450	7,51	4,03	6	0,7	0,0175
	0,2	800	7,51	5,85	6	0,7	0,0311
	0,2	1500	7,51	9,48	6	0,7	0,0583
	0,2	1800	7,51	11,04	6	0,7	0,0700
	0,2	2400	7,51	14,16	6	0,7	0,0933
	0,2	3500	7,51	19,87	6	0,7	0,1361
	0,2	5320	7,51	29,32	6	0,7	0,2069
Concrete	0,25	450	7,51	4,61	6	0,7	0,0175
	0,25	800	7,51	6,89	6	0,7	0,0311
	0,25	1500	7,51	11,43	6	0,7	0,0583
	0,25	1800	7,51	13,38	6	0,7	0,0700

	0,25	2400	7,51	17,27	6	0,7	0,0933
	0,25	3500	7,51	24,41	6	0,7	0,1361
	0,25	5320	7,51	36,22	6	0,7	0,2069
Concrete	0,3	450	7,51	5,20	6	0,7	0,0175
	0,3	800	7,51	7,92	6	0,7	0,0311
	0,3	1500	7,51	13,38	6	0,7	0,0583
	0,3	1800	7,51	15,71	6	0,7	0,0700
	0,3	2400	7,51	20,39	6	0,7	0,0933
	0,3	3500	7,51	28,95	6	0,7	0,1361
	0,3	5320	7,51	43,13	6	0,7	0,2069
Concrete	0,4	450	7,51	6,37	6	0,7	0,0175
	0,4	800	7,51	10,00	6	0,7	0,0311
	0,4	1500	7,51	17,27	6	0,7	0,0583
	0,4	1800	7,51	20,39	6	0,7	0,0700
	0,4	2400	7,51	26,62	6	0,7	0,0933
	0,4	3500	7,51	38,04	6	0,7	0,1361
	0,4	5320	7,51	56,94	6	0,7	0,2069
Concrete	0,45	450	7,51	6,95	6	0,7	0,0175
	0,45	800	7,51	11,04	6	0,7	0,0311
	0,45	1500	7,51	19,22	6	0,7	0,0583
	0,45	1800	7,51	22,72	6	0,7	0,0700
	0,45	2400	7,51	29,73	6	0,7	0,0933
	0,45	3500	7,51	42,58	6	0,7	0,1361
	0,45	5320	7,51	63,85	6	0,7	0,2069
Concrete	0,5	450	7,51	7,54	6	0,7	0,0175
	0,5	800	7,51	12,08	6	0,7	0,0311

	0,5	1500	7,51	21,17	6	0,7	0,0583
	0,5	1800	7,51	25,06	6	0,7	0,0700
	0,5	2400	7,51	32,85	6	0,7	0,0933
	0,5	3500	7,51	47,13	6	0,7	0,1361
	0,5	5320	7,51	70,75	6	0,7	0,2069
Concrete	0,54	450	7,51	8,00	6	0,7	0,0175
	0,54	800	7,51	12,91	6	0,7	0,0311
	0,54	1500	7,51	22,72	6	0,7	0,0583
	0,54	1800	7,51	26,93	6	0,7	0,0700
	0,54	2400	7,51	35,34	6	0,7	0,0933
	0,54	3500	7,51	50,76	6	0,7	0,1361
	0,54	5320	7,51	76,28	6	0,7	0,2069
Concrete	0,89	450	7,51	12,09	6	0,7	0,0175
	0,89	800	7,51	20,18	6	0,7	0,0311
	0,89	1500	7,51	36,35	6	0,7	0,0583
	0,89	1800	7,51	43,28	6	0,7	0,0700
	0,89	2400	7,51	57,15	6	0,7	0,0933
	0,89	3500	7,51	82,57	6	0,7	0,1361
	0,89	5320	7,51	124,62	6	0,7	0,2069
Concrete	0,65	450	7,51	9,29	6	0,7	0,0175
	0,65	800	7,51	15,19	6	0,7	0,0311
	0,65	1500	7,51	27,01	6	0,7	0,0583
	0,65	1800	7,51	32,07	6	0,7	0,0700
	0,65	2400	7,51	42,19	6	0,7	0,0933
	0,65	3500	7,51	60,76	6	0,7	0,1361
	0,65	5320	7,51	91,47	6	0,7	0,2069

Tijolo							
Brick	0,05	450	9,54	1,13	4	0,1	0,0025
	0,05	800	9,54	1,21	4	0,1	0,0044
	0,05	1500	9,54	1,36	4	0,1	0,0083
	0,05	1800	9,52	2,66	4	0,4	0,0400
	0,05	2400	9,52	3,21	4	0,4	0,0533
	0,05	3500	9,52	4,21	4	0,4	0,0778
	0,05	5320	9,52	5,86	4	0,4	0,1182
Brick	0,1	450	9,54	1,23	4	0,1	0,0025
	0,1	800	9,54	1,39	4	0,1	0,0044
	0,1	1500	9,54	1,71	4	0,1	0,0083
	0,1	1800	9,52	4,30	4	0,4	0,0400
	0,1	2400	9,52	5,39	4	0,4	0,0533
	0,1	3500	9,52	7,39	4	0,4	0,0778
	0,1	5320	9,52	10,70	4	0,4	0,1182
Brick	0,11	450	9,54	1,25	4	0,1	0,0025
	0,11	800	9,54	1,42	4	0,1	0,0044
	0,11	1500	9,54	1,77	4	0,1	0,0083
	0,11	1800	9,52	4,62	4	0,4	0,0400
	0,11	2400	9,52	5,82	4	0,4	0,0533
	0,11	3500	9,52	8,02	4	0,4	0,0778
	0,11	5320	9,52	11,66	4	0,4	0,1182
Brick	0,15	450	9,54	1,33	4	0,1	0,0025
	0,15	800	9,54	1,57	4	0,1	0,0044
	0,15	1500	9,54	2,05	4	0,1	0,0083
	0,15	1800	9,52	5,93	4	0,4	0,0400

	0,15	2400	9,52	7,57	4	0,4	0,0533
	0,15	3500	9,52	10,57	4	0,4	0,0778
	0,15	5320	9,52	15,53	4	0,4	0,1182
Brick	0,18	450	9,54	1,39	4	0,1	0,0025
	0,18	800	9,54	1,68	4	0,1	0,0044
	0,18	1500	9,54	2,25	4	0,1	0,0083
	0,18	1800	9,52	6,92	4	0,4	0,0400
	0,18	2400	9,52	8,88	4	0,4	0,0533
	0,18	3500	9,52	12,48	4	0,4	0,0778
	0,18	5320	9,52	18,43	4	0,4	0,1182
Brick	0,2	450	9,54	1,43	4	0,1	0,0025
	0,2	800	9,54	1,75	4	0,1	0,0044
	0,2	1500	9,54	2,39	4	0,1	0,0083
	0,2	1800	9,52	7,57	4	0,4	0,0400
	0,2	2400	9,52	9,75	4	0,4	0,0533
	0,2	3500	9,52	13,75	4	0,4	0,0778
	0,2	5320	9,52	20,37	4	0,4	0,1182
Brick	0,23	450	9,54	1,49	4	0,1	0,0025
	0,23	800	9,54	1,86	4	0,1	0,0044
	0,23	1500	9,54	2,59	4	0,1	0,0083
	0,23	1800	9,52	8,55	4	0,4	0,0400
	0,23	2400	9,52	11,06	4	0,4	0,0533
	0,23	3500	9,52	15,66	4	0,4	0,0778
	0,23	5320	9,52	23,27	4	0,4	0,1182
Brick	0,25	450	9,54	1,54	4	0,1	0,0025
	0,25	800	9,54	1,93	4	0,1	0,0044

	0,25	1500	9,54	2,73	4	0,1	0,0083
	0,25	1800	9,52	9,21	4	0,4	0,0400
	0,25	2400	9,52	11,93	4	0,4	0,0533
	0,25	3500	9,52	16,93	4	0,4	0,0778
	0,25	5320	9,52	25,20	4	0,4	0,1182
Brick	0,3	450	9,54	1,64	4	0,1	0,0025
	0,3	800	9,54	2,12	4	0,1	0,0044
	0,3	1500	9,54	3,07	4	0,1	0,0083
	0,3	1800	9,52	10,84	4	0,4	0,0400
	0,3	2400	9,52	14,11	4	0,4	0,0533
	0,3	3500	9,52	20,11	4	0,4	0,0778
	0,3	5320	9,52	30,04	4	0,4	0,1182
Brick	0,35	450	9,54	1,74	4	0,1	0,0025
	0,35	800	9,54	2,30	4	0,1	0,0044
	0,35	1500	9,54	3,41	4	0,1	0,0083
	0,35	1800	9,52	12,48	4	0,4	0,0400
	0,35	2400	9,52	16,29	4	0,4	0,0533
	0,35	3500	9,52	23,29	4	0,4	0,0778
	0,35	5320	9,52	34,87	4	0,4	0,1182
Brick	0,4	450	9,54	1,84	4	0,1	0,0025
	0,4	800	9,54	2,48	4	0,1	0,0044
	0,4	1500	9,54	3,75	4	0,1	0,0083
	0,4	1800	9,52	14,11	4	0,4	0,0400
	0,4	2400	9,52	18,48	4	0,4	0,0533
	0,4	3500	9,52	26,47	4	0,4	0,0778
	0,4	5320	9,52	39,71	4	0,4	0,1182

Pladur							
Plaster Board	0,05	450	12,90	0,84	2,5	0,3	0,0075
	0,05	800	12,90	1,14	2,5	0,3	0,0133
	0,05	1500	12,90	1,74	2,5	0,3	0,0250
	0,05	1800	12,90	2,00	2,5	0,3	0,0300
	0,05	2400	12,90	2,52	2,5	0,3	0,0400
	0,05	3500	12,90	3,47	2,5	0,3	0,0583
	0,05	5320	12,90	5,04	2,5	0,3	0,0887
Plaster Board	0,07	450	12,90	0,99	2,5	0,3	0,0075
	0,07	800	12,90	1,42	2,5	0,3	0,0133
	0,07	1500	12,90	2,26	2,5	0,3	0,0250
	0,07	1800	12,90	2,62	2,5	0,3	0,0300
	0,07	2400	12,90	3,35	2,5	0,3	0,0400
	0,07	3500	12,90	4,67	2,5	0,3	0,0583
	0,07	5320	12,90	6,87	2,5	0,3	0,0887
Plaster Board	0,1	450	12,90	1,23	2,5	0,3	0,0075
	0,1	800	12,90	1,83	2,5	0,3	0,0133
	0,1	1500	12,90	3,04	2,5	0,3	0,0250
	0,1	1800	12,90	3,55	2,5	0,3	0,0300
	0,1	2400	12,90	4,59	2,5	0,3	0,0400
	0,1	3500	12,90	6,48	2,5	0,3	0,0583
	0,1	5320	12,90	9,62	2,5	0,3	0,0887
Madeira Prensada							
Particle Board	0,05	450	11,43	0,88	3	0,2	0,0050
	0,05	800	11,43	1,07	3	0,2	0,0089
	0,05	1500	11,43	1,44	3	0,2	0,0167

	0,05	1800	11,43	1,59	3	0,2	0,0200
	0,05	2400	11,43	1,91	3	0,2	0,0267
	0,05	3500	11,43	2,49	3	0,2	0,0389
	0,05	5320	11,43	3,44	3	0,2	0,0591
Particle Board	0,07	450	11,43	0,98	3	0,2	0,0050
	0,07	800	11,43	1,24	3	0,2	0,0089
	0,07	1500	11,43	1,75	3	0,2	0,0167
	0,07	1800	11,43	1,97	3	0,2	0,0200
	0,07	2400	11,43	2,41	3	0,2	0,0267
	0,07	3500	11,43	3,22	3	0,2	0,0389
	0,07	5320	11,43	4,56	3	0,2	0,0591
Particle Board	0,1	450	11,43	1,12	3	0,2	0,0050
	0,1	800	11,43	1,49	3	0,2	0,0089
	0,1	1500	11,43	2,22	3	0,2	0,0167
	0,1	1800	11,43	2,54	3	0,2	0,0200
	0,1	2400	11,43	3,17	3	0,2	0,0267
	0,1	3500	11,43	4,32	3	0,2	0,0389
	0,1	5320	11,43	6,23	3	0,2	0,0591
Vidro							
Glass	0,002	450	7,53	1,69	6,0000	0,0500	0,00125
	0,002	800	7,53	1,69	6,0000	0,0500	0,00222
	0,002	1500	7,53	1,69	6,0000	0,0500	0,00417
	0,002	1800	7,53	1,69	6,0000	0,0500	0,00500
	0,002	2400	7,53	1,70	6,0000	0,0500	0,00667
	0,002	3500	7,53	1,70	6,0000	0,0500	0,00972
	0,002	5320	7,53	1,71	6,0000	0,0500	0,01478

Glass	0,005	450	7,53	1,69	6,0000	0,0500	0,00125
	0,005	800	7,53	1,69	6,0000	0,0500	0,00222
	0,005	1500	7,53	1,70	6,0000	0,0500	0,00417
	0,005	1800	7,53	1,70	6,0000	0,0500	0,00500
	0,005	2400	7,53	1,71	6,0000	0,0500	0,00667
	0,005	3500	7,53	1,72	6,0000	0,0500	0,00972
	0,005	5320	7,53	1,74	6,0000	0,0500	0,01478
Poliestireno (Wallmate)		Extrudido					
Polystyrene	0,04	450	11,76	1,96	2,5500	1,4900	0,03725
	0,04	800	11,76	3,10	2,5500	1,4900	0,06622
	0,04	1500	11,76	5,39	2,5500	1,4900	0,12417
	0,04	1800	11,76	6,37	2,5500	1,4900	0,14900
	0,04	2400	11,76	8,33	2,5500	1,4900	0,19867
	0,04	3500	11,76	11,93	2,5500	1,4900	0,28972
	0,04	5320	11,76	17,88	2,5500	1,4900	0,44038
Polystyrene	0,05	450	11,76	2,33	2,5500	1,4900	0,03725
	0,05	800	11,76	3,76	2,5500	1,4900	0,06622
	0,05	1500	11,76	6,62	2,5500	1,4900	0,12417
	0,05	1800	11,76	7,84	2,5500	1,4900	0,14900
	0,05	2400	11,76	10,30	2,5500	1,4900	0,19867
	0,05	3500	11,76	14,79	2,5500	1,4900	0,28972
	0,05	5320	11,76	22,23	2,5500	1,4900	0,44038
Metal							
Metal	0,001	450	0,05	56,31	1,0000	100000	2500
	0,001	800	0,05	70,56	1,0000	100000	4444

	0,001	1500	0,05	99,04	1,0000	100000	8333
	0,001	1800	0,05	111,25	1,0000	100000	10000
	0,001	2400	0,05	135,67	1,0000	100000	13333
	0,001	3500	0,05	180,44	1,0000	100000	19444
	0,001	5320	0,05	254,51	1,0000	100000	29556
Metal	0,005	450	0,05	129,57	1,0000	100000	2500
	0,005	800	0,05	200,79	1,0000	100000	4444
	0,005	1500	0,05	343,23	1,0000	100000	8333
	0,005	1800	0,05	404,27	1,0000	100000	10000
	0,005	2400	0,05	526,36	1,0000	100000	13333
	0,005	3500	0,05	750,20	1,0000	100000	19444
	0,005	5320	0,05	1120,54	1,0000	100000	29556

Figura A.1 – Tabela Excel com as propriedades elétricas dos materiais

B. Localização dos AP's

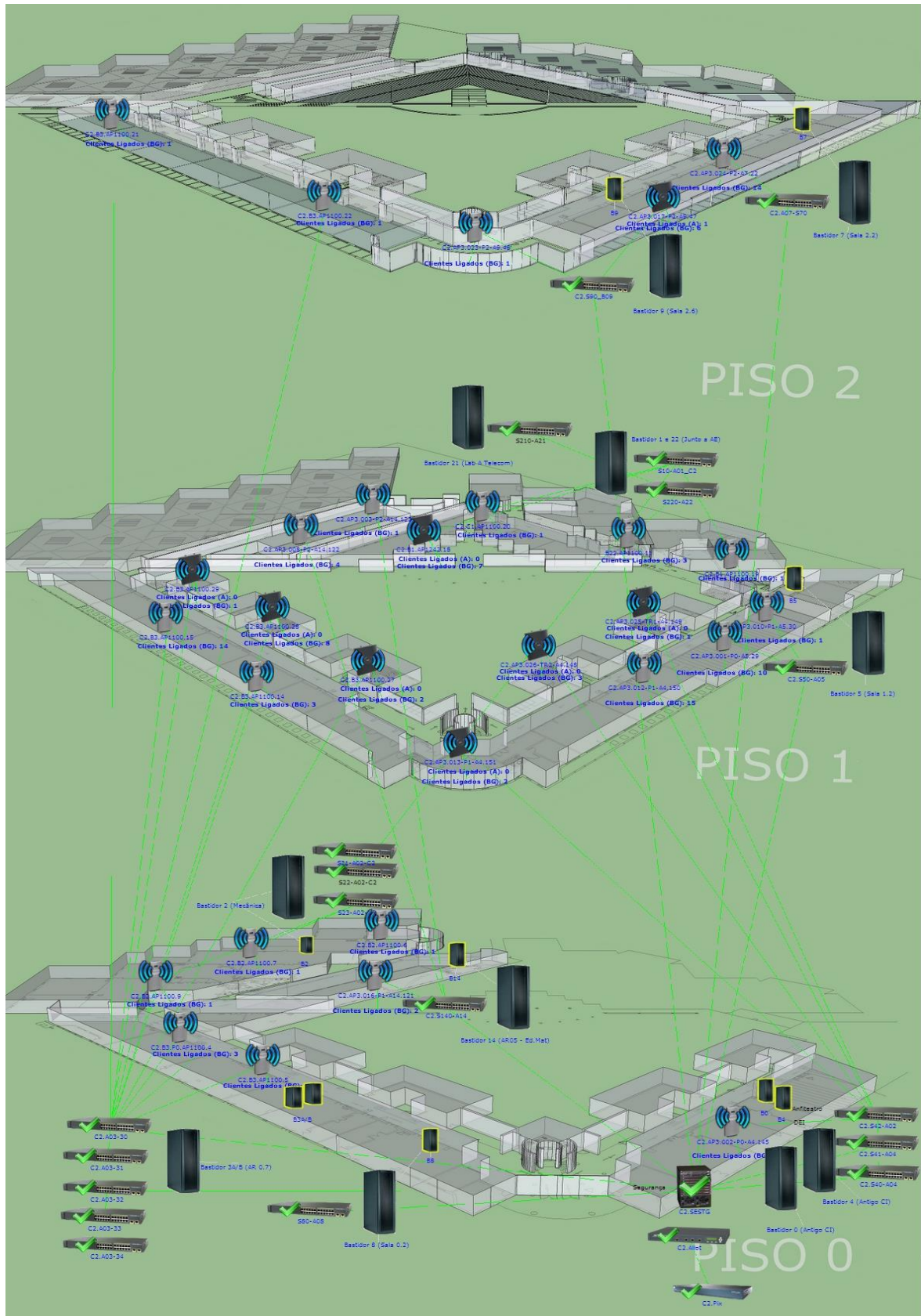


Figura B.1 - Edifício A



Figura B.3 - Edificio C

AP Name	Radio Slot#	Base Radio MAC	Sub Band	Admin Status	Operational Status	Channel	CleanAir	Admin Status	CleanAir	Oper Status	Radio Role	Power Level	Antenna
C2.231-P2-Bib1.30.118	1	00:17:df:95:11:e0	-	Enable	UP	84 *	NA	NA	N/A	N/A	1 *	External	
C2.131-P-1-D1.12.191	1	00:17:df:95:13:20	-	Enable	UP	84 *	NA	NA	N/A	N/A	1 *	External	
C2.225-P-1-Bib1.10.14	1	00:17:df:95:52:00	-	Enable	UP	84 *	NA	NA	N/A	N/A	1 *	External	
C2.068-P0-B19.14	1	00:17:df:95:0e:e0	-	Enable	UP	84 *	NA	NA	N/A	N/A	1 *	External	
C2.066-P0-B15.164	1	00:17:df:95:25:60	-	Enable	UP	84 *	NA	NA	N/A	N/A	1 *	External	
C2.065-P0-B18.23	1	00:1f:27:57:b2:e0	-	Enable	UP	84 *	NA	NA	N/A	N/A	1 *	External	
C2.028-TR4-A3.272	1	00:17:df:95:1f:90	-	Enable	UP	84 *	NA	NA	N/A	N/A	1 *	External	
C2.228-P0-Bib1.10.94	1	00:17:df:95:2e:80	-	Enable	UP	84 *	NA	NA	N/A	N/A	1 *	External	
C2.025-TR1-A4.149	1	00:17:df:94:ae:00	-	Enable	UP	84 *	NA	NA	N/A	N/A	1 *	External	
C2.026-TR2-A4.148	1	00:17:df:94:6d:c0	-	Enable	UP	84 *	NA	NA	N/A	N/A	1 *	External	
C2.ESS.009-P1-191	1	00:17:df:95:50:c0	-	Enable	UP	84 *	NA	NA	N/A	N/A	1 *	External	
C2.018-P1-A1	1	00:17:df:95:23:e0	-	Enable	UP	84 *	NA	NA	N/A	N/A	1 *	External	
C2.070-P2-B15.166	1	00:17:df:95:26:30	-	Enable	UP	84 *	NA	NA	N/A	N/A	1 *	External	
C2.139-P1-D1.14.166	1	00:17:df:95:0e:30	-	Enable	UP	84 *	NA	NA	N/A	N/A	1 *	External	
C2.ESS.015-P2-37	1	00:17:df:95:48:a0	-	Enable	UP	84 *	NA	NA	N/A	N/A	1 *	External	
C2.ESS.014-P2-25	1	00:17:df:95:53:40	-	Enable	UP	84 *	NA	NA	N/A	N/A	1 *	External	
C2.029-TR5-A3.273	1	00:17:df:95:20:60	-	Enable	UP	84 *	NA	NA	N/A	N/A	1 *	External	
C2.ESS.003-P-1.316	1	00:17:df:95:43:a0	-	Enable	UP	84 *	NA	NA	N/A	N/A	1 *	External	
C2.067-P0-B17.2	1	00:17:df:95:0e:e0	-	Enable	UP	84 *	NA	NA	N/A	N/A	1 *	External	
C2.ESS.007-P0-21	1	00:17:df:95:51:40	-	Enable	UP	84 *	NA	NA	N/A	N/A	1 *	External	
C2.017-P2-A9.47	1	00:17:df:95:22:10	-	Enable	UP	84 *	NA	NA	N/A	N/A	1 *	External	
C2.230-P1-Bib1.10.95	1	00:17:df:95:31:50	-	Enable	UP	84 *	NA	NA	N/A	N/A	1 *	External	
C2.027-TR3-A3.271	1	00:17:df:95:23:a0	-	Enable	UP	84 *	NA	NA	N/A	N/A	1 *	External	
C2.013-P1-A4.151	1	00:17:df:95:2f:10	-	Enable	UP	84 *	NA	NA	N/A	N/A	1 *	External	
C2.232-P2-Bib1.10.96	1	00:17:df:95:50:10	-	Enable	UP	84 *	NA	NA	N/A	N/A	1 *	External	
C2.132-P-1-D1.12.192	1	00:17:df:94:75:90	-	Enable	UP	84 *	NA	NA	N/A	N/A	1 *	External	
C2.229-P1-Bib1.20.120	1	00:22:04:e2:22:60	-	Enable	UP	84 *	NA	NA	N/A	N/A	1 *	External	
C2.071-P1-B15.167	1	00:17:df:95:24:90	-	Enable	UP	84 *	NA	NA	N/A	N/A	1 *	External	

AP Name	Radio Slot#	Base Radio MAC	Admin Status	Operational Status	Channel	CleanAir	Admin Status	CleanAir	Oper Status	Power Level	Antenna
C2.ESS.013-P2-97	0	00:11:5c:34:f6:80	Enable	UP	1 *	NA	NA	NA	2 *	Internal	
C2.ESS.001-P-1-311	0	00:11:5c:34:e2:80	Enable	UP	11 *	NA	NA	NA	2 *	Internal	
C2.231-P2-Bib1.30.118	0	00:17:df:95:11:e0	Enable	UP	6 *	NA	NA	NA	1 *	External	
C2.131-P-1-D1.12.191	0	00:17:df:95:13:20	Enable	UP	1 *	NA	NA	NA	1 *	External	
C2.141-P1-D.1.14.168	0	00:11:5c:34:fa:50	Enable	UP	11 *	NA	NA	NA	1 *	Internal	
C2.225-P-1-Bib1.10.14	0	00:17:df:95:52:00	Enable	UP	1 *	NA	NA	NA	1 *	External	
C2.130-P-1-D1.11.72	0	00:11:5c:34:f6:60	Enable	UP	6 *	NA	NA	NA	1 *	Internal	
C2.144-P2-D1.17.166	0	00:11:5c:34:fa:a0	Enable	UP	6 *	NA	NA	NA	2 *	Internal	
C2.136-P1-D1.15.406	0	00:11:5c:34:ef:20	Enable	UP	1 *	NA	NA	NA	1 *	Internal	
C2.121-P0-CT2-1.4	0	00:11:5c:34:ed:c0	Enable	UP	1 *	NA	NA	NA	1 *	Internal	
C2.068-P0-B19.14	0	00:17:df:95:0e:e0	Enable	UP	11 *	NA	NA	NA	1 *	External	
C2.097-P0-C20.129	0	00:11:5c:34:ed:20	Enable	UP	6 *	NA	NA	NA	1 *	Internal	
C2.073-P2-B15.213	0	00:11:5c:34:14:40	Enable	UP	11 *	NA	NA	NA	1 *	Internal	
C2.072-P2-B15.168	0	00:12:da:ae:af:20	Enable	UP	1 *	NA	NA	NA	1 *	Internal	
C2.066-P0-B15.164	0	00:17:df:95:25:60	Enable	UP	1 *	NA	NA	NA	2 *	External	
C2.011-P1-B22.49	0	00:11:5c:34:f7:10	Enable	UP	1 *	NA	NA	NA	1 *	Internal	
C2.065-P0-B18.23	0	00:1f:27:57:b2:e0	Enable	UP	1 *	NA	NA	NA	1 *	External	
C2.009-P0-A2.04	0	00:11:5c:34:c2:40	Enable	UP	1 *	NA	NA	NA	1 *	Internal	
C2.098-P0-C20.130	0	00:11:5c:35:02:30	Enable	UP	1 *	NA	NA	NA	1 *	Internal	
C2.138-P1-D1.15.408	0	00:11:5c:34:f9:70	Enable	UP	1 *	NA	NA	NA	1 *	Internal	
C2.028-TR4-A3.272	0	00:17:df:95:1f:90	Enable	UP	11 *	NA	NA	NA	1 *	External	
C2.228-P0-Bib1.10.94	0	00:17:df:95:2e:80	Enable	UP	11 *	NA	NA	NA	1 *	External	
C2.008-P2-A14.122	0	00:11:5c:34:f6:d0	Enable	UP	1 *	NA	NA	NA	1 *	Internal	
C2.025-TR1-A4.149	0	00:17:df:94:ae:00	Enable	UP	11 *	NA	NA	NA	1 *	External	
C2.026-TR2-A4.148	0	00:17:df:94:6d:c0	Enable	UP	11 *	NA	NA	NA	2 *	External	
C2.006-P0-A2.01	0	00:11:5c:34:ee:60	Enable	UP	11 *	NA	NA	NA	1 *	Internal	
C2.ESS.009-P1-191	0	00:17:df:95:50:c0	Enable	UP	1 *	NA	NA	NA	2 *	External	
C2.142-P2-D1.17.168	0	00:11:5c:34:f9:d0	Enable	UP	1 *	NA	NA	NA	2 *	Internal	
C2.ESS.012-P2-156	0	00:11:5c:34:f1:d0	Enable	UP	11 *	NA	NA	NA	3 *	Internal	
C2.018-P1-A1	0	00:17:df:95:23:e0	Enable	UP	11 *	NA	NA	NA	1 *	External	
C2.140-P1-D1.14.167	0	00:11:5c:35:0e:00	Enable	UP	6 *	NA	NA	NA	1 *	Internal	
C2.ESS.004-P-1-177	0	00:11:20:b0:74:b0	Enable	UP	6 *	NA	NA	NA	2 *	Internal	
C2.007-P0-A2.02	0	00:11:5c:34:f6:70	Enable	UP	6 *	NA	NA	NA	1 *	Internal	
C2.003-P2-A14.123	0	00:11:5c:35:02:80	Enable	UP	11 *	NA	NA	NA	1 *	Internal	
C2.134-P0-D1.13.216	0	00:11:5c:34:eb:50	Enable	UP	1 *	NA	NA	NA	1 *	Internal	
C2.ESS.003-P-1-242	0	00:11:5c:34:f3:30	Enable	UP	1 *	NA	NA	NA	2 *	Internal	

C2.069-P1-B15.165	0	00:11:20:b071:d0	Enable	UP	6 *	NA	NA	1 *	Internal
C2.070-P2-B15.166	0	00:17:df95:26:30	Enable	UP	11 *	NA	NA	1 *	External
C2.ESS.006-P0-66	0	00:11:20:8a:79:00	Enable	UP	1 *	NA	NA	3 *	Internal
C2.103-P2-C23.3	0	00:12:da:ae:b9:10	Enable	UP	1 *	NA	NA	1 *	Internal
C2.139-P1-D1.15.166	0	00:17:df95:0e:30	Enable	UP	1 *	NA	NA	1 *	External
C2.ESS.015-P2-37	0	00:17:df95:48:a0	Enable	UP	11 *	NA	NA	2 *	External
C2.ESS.011-P1-167	0	00:11:5c:34:ee:a0	Enable	UP	11 *	NA	NA	3 *	Internal
C2.123-P1-CT2.1.3	0	00:11:5c:34:eb:20	Enable	UP	6 *	NA	NA	1 *	Internal
C2.ESS.014-P2-25	0	00:17:df95:63:40	Enable	UP	6 *	NA	NA	2 *	External
C2.015-P1-A3.268	0	00:11:5c:34:f7:d0	Enable	UP	6 *	NA	NA	1 *	Internal
C2.029-TR5-A3.273	0	00:17:df95:20:60	Enable	UP	1 *	NA	NA	1 *	External
C2.137-P1-D1.15.407	0	00:11:5c:2d:70:c0	Enable	UP	1 *	NA	NA	2 *	Internal
C2.019-P1-A1.267	0	00:11:5c:34:ed:60	Enable	UP	1 *	NA	NA	1 *	Internal
C2.021-P2-A3.269	0	00:11:5c:34:f5:20	Enable	UP	1 *	NA	NA	2 *	Internal
C2.122-P1-CT2.1.1	0	00:11:5c:35:0d:e0	Enable	UP	1 *	NA	NA	1 *	Internal
C2.012-P1-A4.160	0	00:11:5c:34:ef:30	Enable	UP	1 *	NA	NA	4 *	Internal
C2.ESS.008-P0-11	0	00:11:20:b075:10	Enable	UP	1 *	NA	NA	2 *	Internal
C2.005-P0-A3.266	0	00:11:5c:34:e2:70	Enable	UP	1 *	NA	NA	1 *	Internal
C2.ESS.005-P0-136	0	00:11:20:b4:65:90	Enable	UP	6 *	NA	NA	2 *	Internal
C2.102-P1-C23.2	0	00:11:5c:34:f7:30	Enable	UP	1 *	NA	NA	1 *	Internal
C2.ESS.010-P1-182	0	00:11:20:b4:64:70	Enable	UP	6 *	NA	NA	4 *	Internal
C2.016-P1-A14.121	0	00:11:5c:34:f7:80	Enable	UP	11 *	NA	NA	1 *	Internal
C2.ESS.002-P-1-316	0	00:17:df95:43:e0	Enable	UP	11 *	NA	NA	1 *	External
C2.129-P-1-D1.11.71	0	00:11:5c:34:f4:50	Enable	UP	6 *	NA	NA	1 *	Internal
C2.067-P0-B17.2	0	00:17:df95:0e:a0	Enable	UP	1 *	NA	NA	1 *	External
C2.ESS.007-P0-21	0	00:17:df95:51:d0	Enable	UP	11 *	NA	NA	2 *	External
C2.022-P2-A3.270	0	00:11:5c:35:15:d0	Enable	UP	1 *	NA	NA	1 *	Internal
C2.133-P0-D1.13.215	0	00:11:5c:34:f4:d0	Enable	UP	1 *	NA	NA	1 *	Internal
C2.020-P1-A1.268	0	00:11:5c:34:ed:90	Enable	UP	11 *	NA	NA	1 *	Internal
C2.017-P2-A9.47	0	00:17:df95:22:10	Enable	UP	11 *	NA	NA	3 *	External
C2.002-P0-A4.145	0	00:11:5c:34:f4:60	Enable	UP	6 *	NA	NA	4 *	Internal
C2.145-P2-D1.17.167	0	00:11:5c:34:f6:a0	Enable	UP	6 *	NA	NA	2 *	Internal
C2.001-P0-A5.29	0	00:11:5c:34:f1:e0	Enable	UP	1 *	NA	NA	1 *	Internal
C2.023-P2-A9.48	0	00:11:5c:34:f7:d0	Enable	UP	11 *	NA	NA	1 *	Internal
C2.230-P1-B1b1.10.95	0	00:17:df95:31:50	Enable	UP	6 *	NA	NA	1 *	External
C2.100-P1-C20.132	0	00:11:5c:34:f9:20	Enable	UP	6 *	NA	NA	1 *	Internal
C2.143-P2-D1.16.96	0	00:11:5c:34:f8:20	Enable	UP	1 *	NA	NA	1 *	Internal
C2.024-P2-A7.22	0	00:11:5c:35:07:50	Enable	UP	1 *	NA	NA	1 *	Internal
C2.027-TR3-A3.271	0	00:17:df95:23:d0	Enable	UP	11 *	NA	NA	2 *	External
C2.146-P2-D1.16.95	0	00:11:5c:34:f4:b0	Enable	UP	1 *	NA	NA	1 *	Internal
C2.013-P1-A4.151	0	00:17:df95:2f:10	Enable	UP	6 *	NA	NA	1 *	External
C2.232-P2-B1b1.10.96	0	00:17:df95:50:10	Enable	UP	1 *	NA	NA	1 *	External
C2.099-P1-C20.131	0	00:11:5c:34:fd:c0	Enable	UP	1 *	NA	NA	1 *	Internal
C2.004-P0-A3.265	0	00:11:5c:34:f8:40	Enable	UP	6 *	NA	NA	2 *	Internal
C2.014-P1-A3.267	0	00:11:5c:34:f4:90	Enable	UP	11 *	NA	NA	2 *	Internal
C2.132-P-1-D1.12.192	0	00:17:df94:75:90	Enable	UP	11 *	NA	NA	1 *	External
C2.194-P1-EA25.96	0	00:11:5c:34:f7:90	Enable	UP	1 *	NA	NA	1 *	Internal
C2.229-P1-B1b1.20.120	0	00:22:0d:e2:22:60	Enable	UP	1 *	NA	NA	1 *	External
C2.071-P1-B15.167	0	00:17:df95:24:90	Enable	UP	6 *	NA	NA	1 *	External

Figura B.5 - Canais Utilizados pelos Ap's

C. Descrição dos passos de criação de projeto novo

O primeiro passo é abrir o *ProMan*. Neste, seleciona-se “New Project” na barra de “menu”. Na janela de elaboração do novo projeto (Figura C.1) temos de definir a seleção do interface comunicação e a seleção do mapa. Na seleção de interface da comunicação na coluna esquerda da janela podemos utilizar ficheiros disponibilizados pela “AWE” com os padrões de antenas pretendidos, em formato “.wst”, já com os parâmetros corretos de vários interfaces de comunicação que neste caso será o protocolo 802.11g. Na coluna da direita definimos qual é o cenário pretendido, neste caso o cenário *Campus2* do IPLeiria, que embora seja híbrido, temos de o seleccionar como urbano.

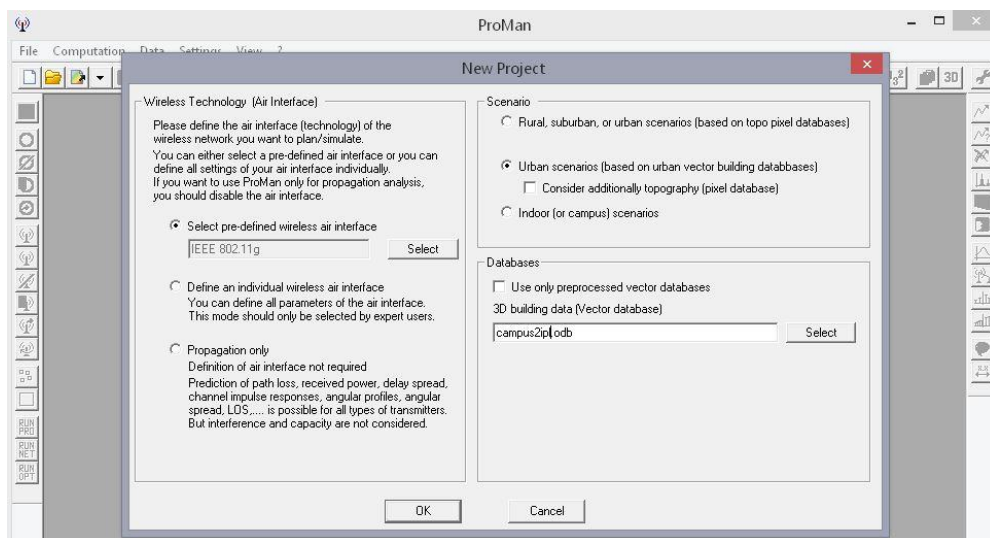


Figura C.1 - Novo Projeto Wallman

Na janela seguinte selecionamos os canais pretendidos (frequências) a utilizar no projeto que na Europa e no neste projeto são o canal 1 ao 11 (do 2412MHz ao 2462MHz), e que neste projeto em concreto são apenas os canais 1, 6 e 11, para evitar as interferências de canal adjacente. De seguida selecionamos a altura predefinida para visualização do cenário. Neste caso foi selecionada um metro e meio.

Temos o cenário de Leiria. Vamos reduzir a área de predição apenas para o *Campus 2* com o comando “Define rectangular area”, desenhando o retângulo a envolver apenas o *Campus* (**Erro! A origem da referência não foi encontrada.**).

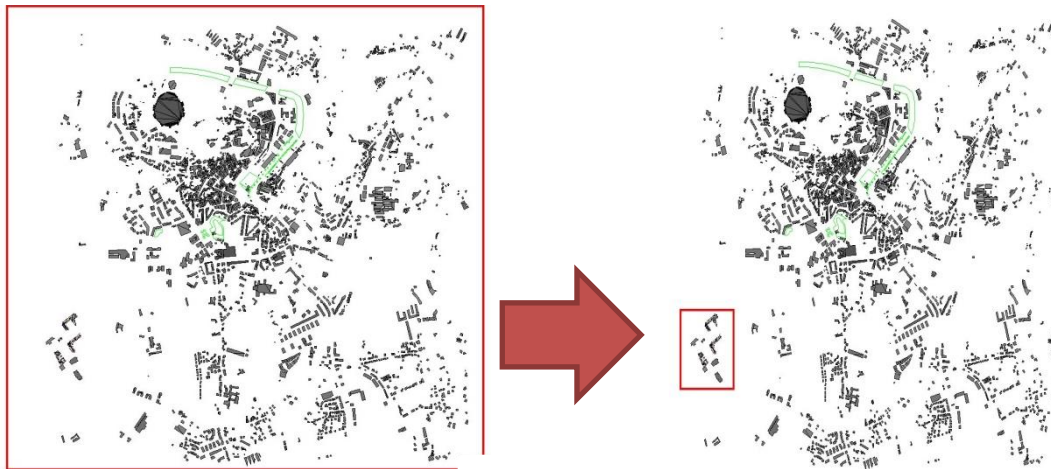


Figura C.2 - Definir nova área de predição

Com o nosso cenário já no ecrã vamos iniciar a configuração dos parâmetros do nosso novo projeto em “Project => Edit Parameter”, que vai abrir a janela com todos os parâmetros nos vários separadores.

Air Interface

O primeiro separador corresponde ao interface de comunicação. Os valores necessários já estão atribuídos dado que aproveitamos o ficheiro *.wst atribuído pela AWE. Aqui está toda a informação acerca da configuração da tecnologia utilizada.

Simulation

O Próximo separador corresponde aos parâmetros da simulação. Aqui pode-se também definir os dados relativos à área de predição, resolução e as alturas da previsão.

Network

Neste separador, escolhemos as nossas variáveis de saída do simulador do planeamento de rede, isto é, os nossos resultados (Figura C.3). Estes resultados podem ser divididos em:

- Resultados gerais;
- Resultados individuais para cada modo de transmissão;
- Resultados relativos à atribuição de células;
- Análise da portadora de serviço;
-

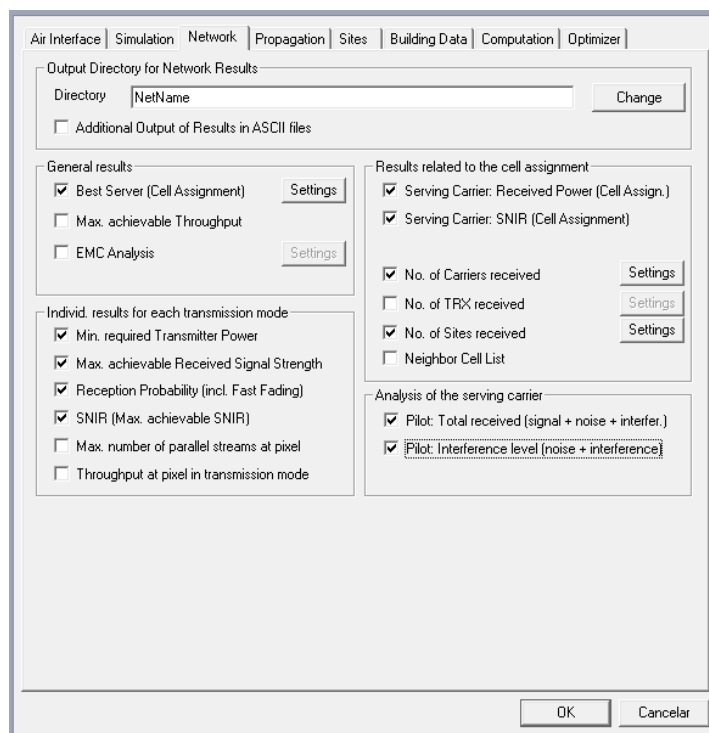


Figura C.3 - Opções seleccionadas para a simulação de rede

Propagation

Neste separador é possível escolher os resultados da simulação da propagação das ondas, quais as variáveis de análise de propagação desejados.

Sites

Aqui neste separador são listados todos os nossos *sites* (pontos de acesso) do projeto. Se necessário, aqui também se pode aceder individualmente cada AP e configurar os parâmetros.

Computation

Neste separador é feita a seleção do modelo de propagação a utilizar. Neste projeto é o “Dominant Path Model”. Também é neste separador que se ativa o modo híbrido, isto é, a predição CNP, colocando o visto em “CNP Indoor prediction” (Figura C.4).

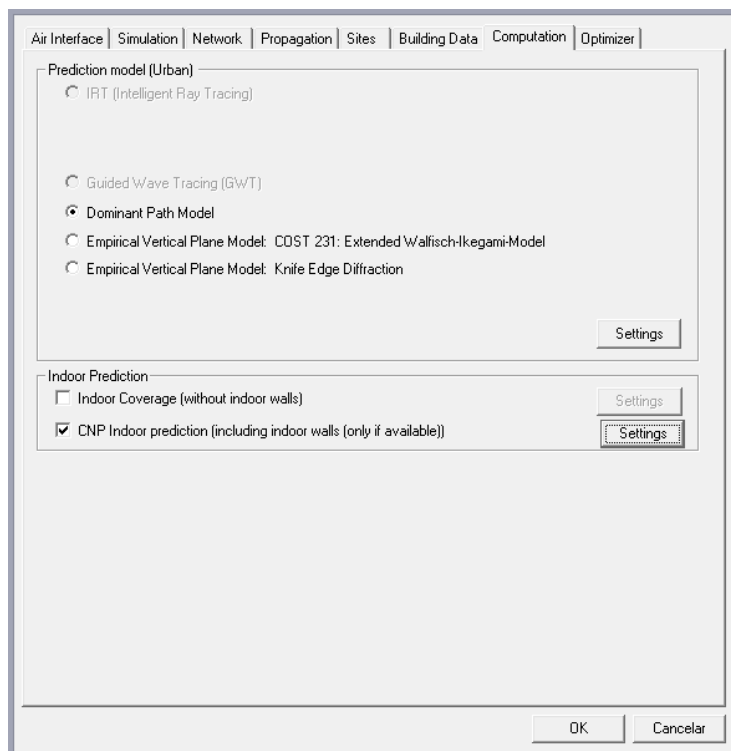


Figura C.4 - Ativação da simulação em modo híbrido

Após todos os parâmetros do projeto estarem definidos, o primeiro passo do planeamento e simulação de rede é a atribuição de células na área, isto é, da definição das antenas do cenário.

D. Simulações do edifício A

Área das células

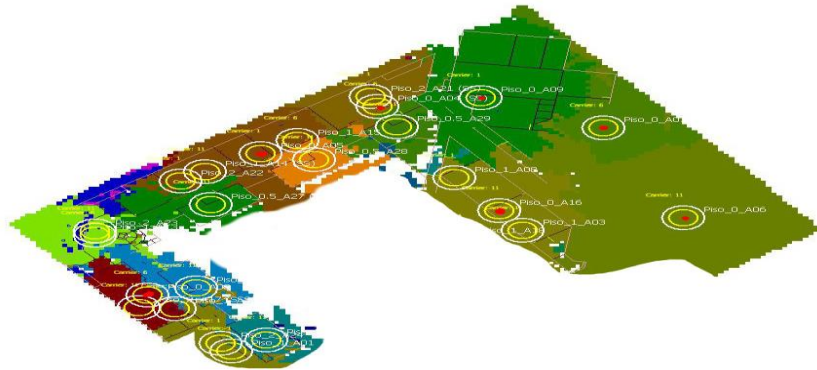


Figura D.1 - Área das células Piso 0 Edifício A

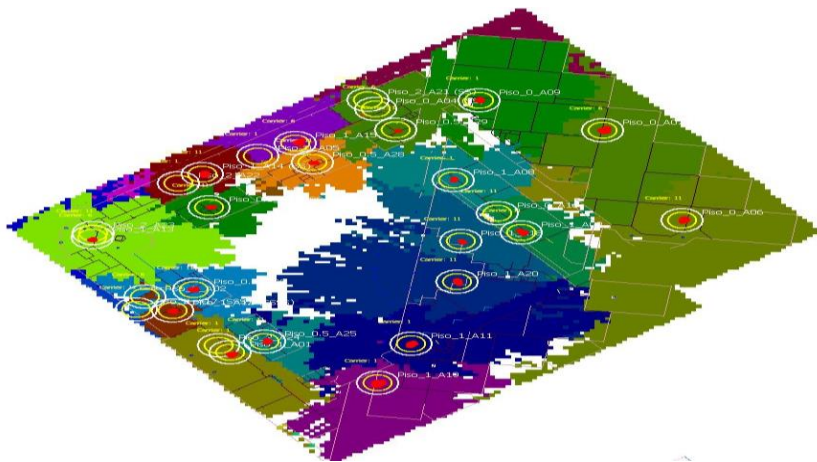


Figura D.2 - Área das células Piso 1 Edifício A

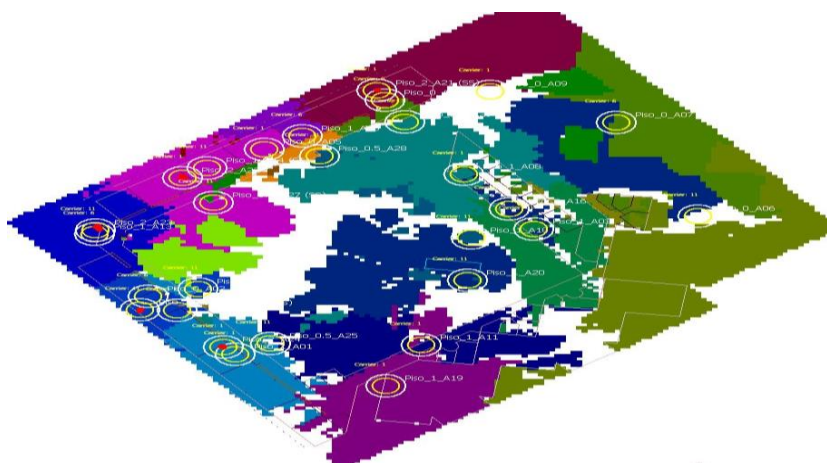


Figura D.3 - Área das células Piso 2 Edifício A

Número de portadoras recebidas

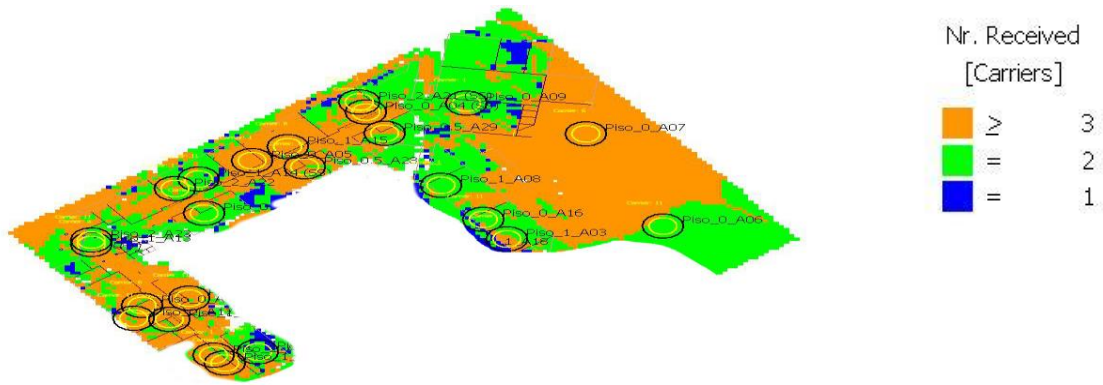


Figura D.4 - Número de portadoras recebidas no piso 0 do edifício A

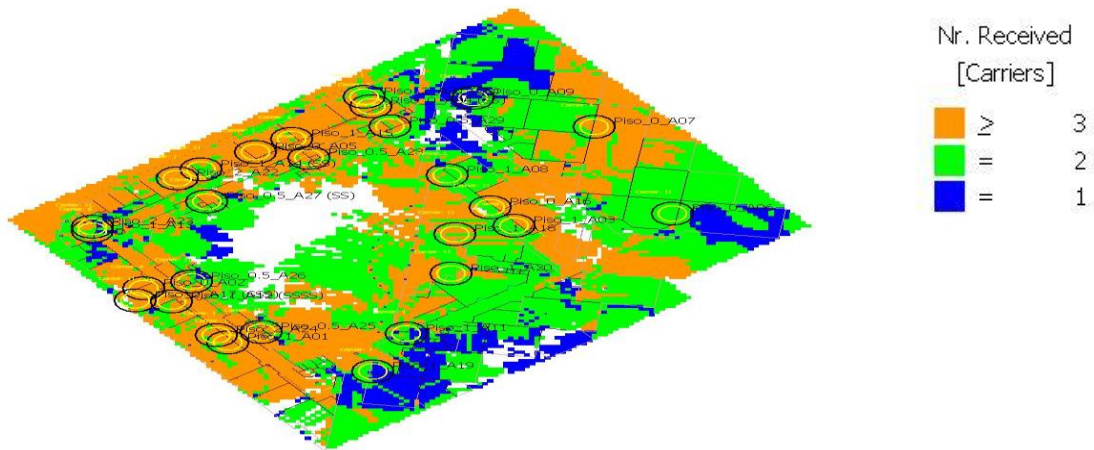


Figura D.5 - Número de portadoras recebidas no piso 1 do edifício A

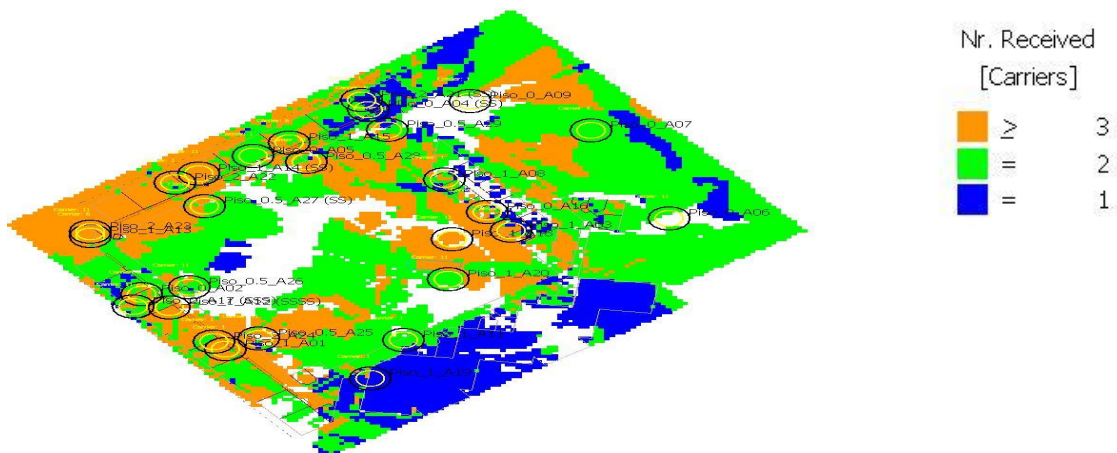


Figura D.6 - Número de portadoras recebidas no piso 2 do edifício A

Portadora dominante

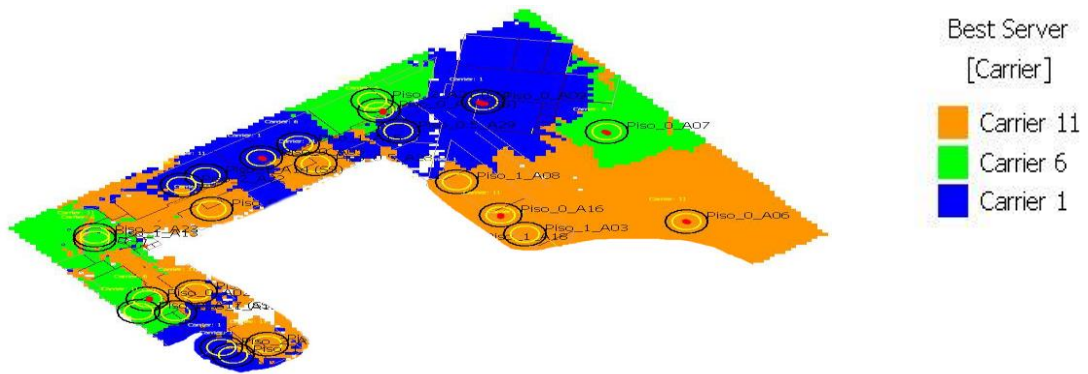


Figura D.7 - Portadora dominante do piso 0 edifício A

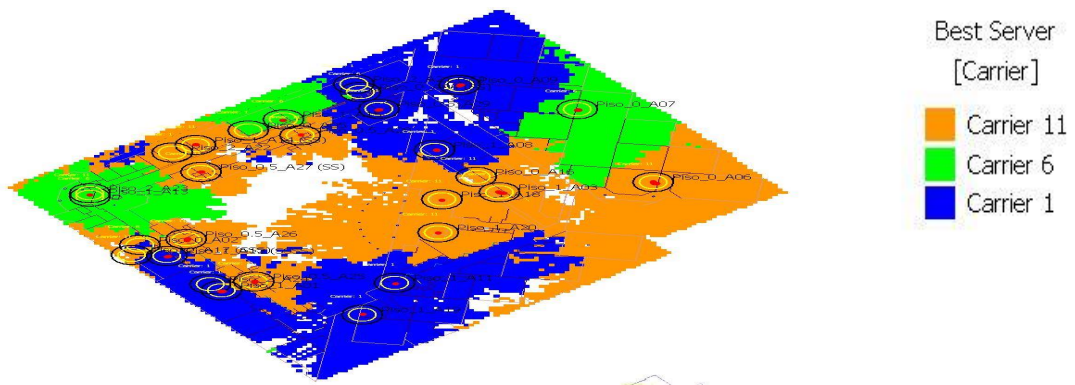


Figura D.8 - Portadora dominante do piso 1 edifício A

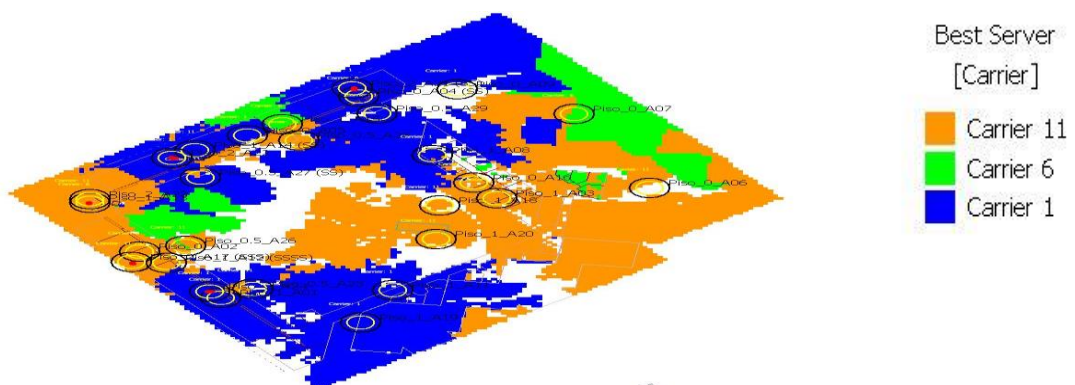


Figura D.9 - Portadora dominante do piso 2 edifício A

Máximo sinal recebido

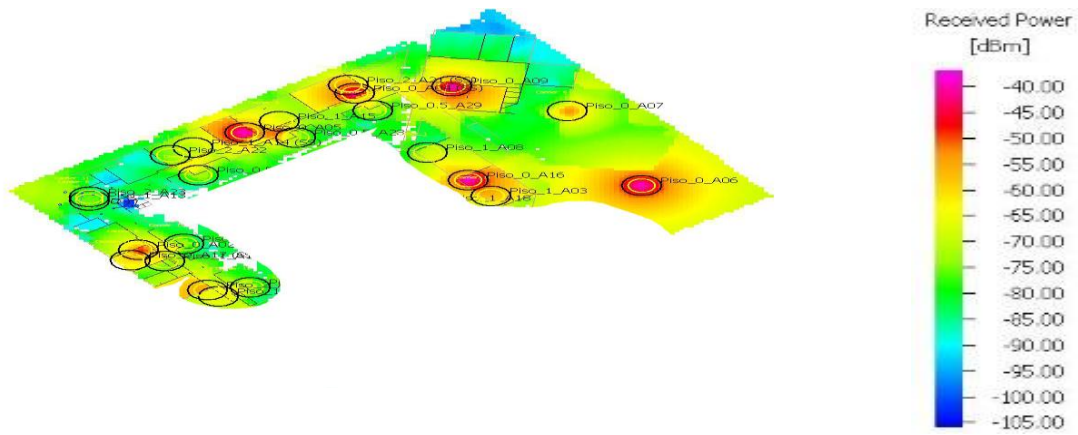


Figura D.10 - Máximo sinal recebido no piso 0 do edifício A

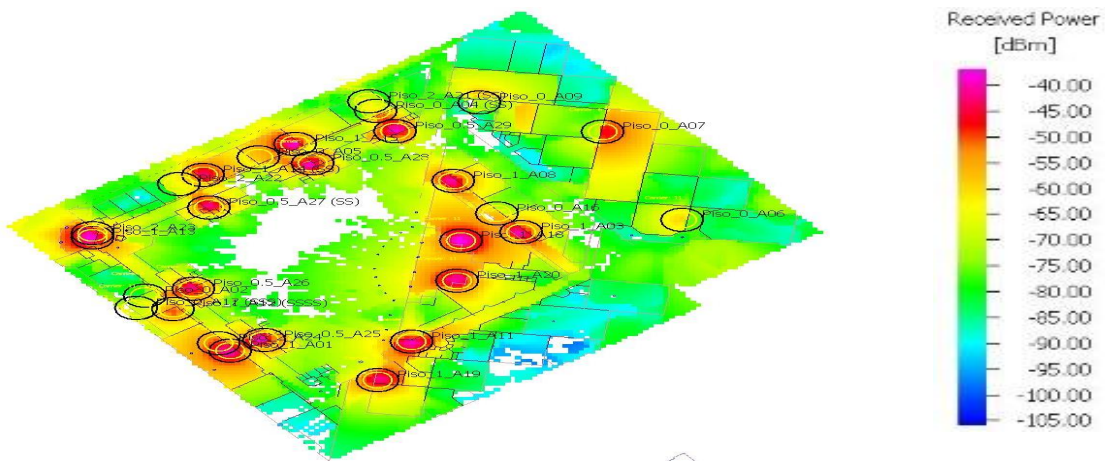


Figura D.11 - Máximo sinal recebido no piso 1 do edifício A

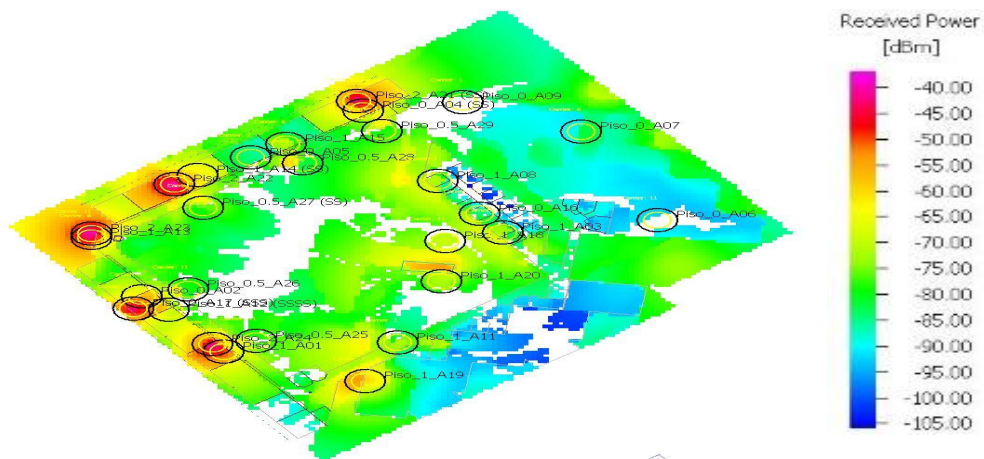


Figura D.12 - Máximo sinal recebido no piso 2 do edifício A

Análise do SNIR

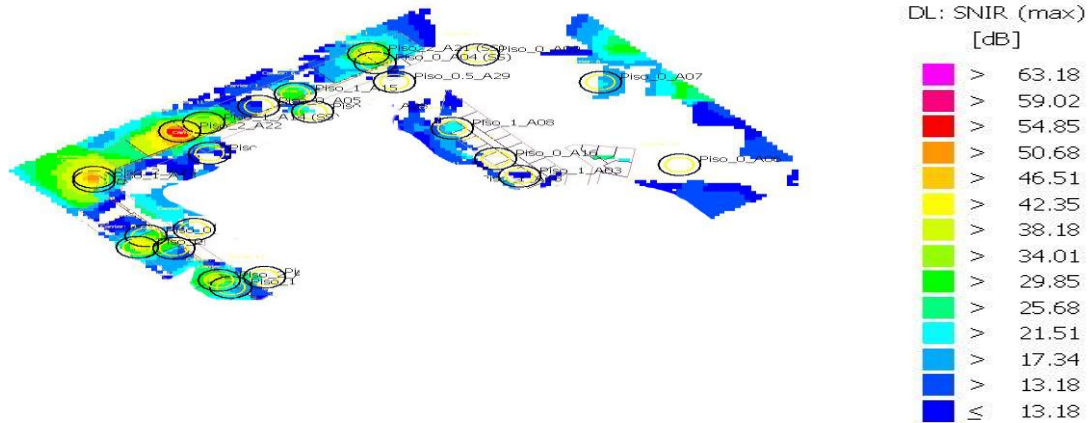


Figura D.13 - Análise do SNIR do piso 0 edifício A

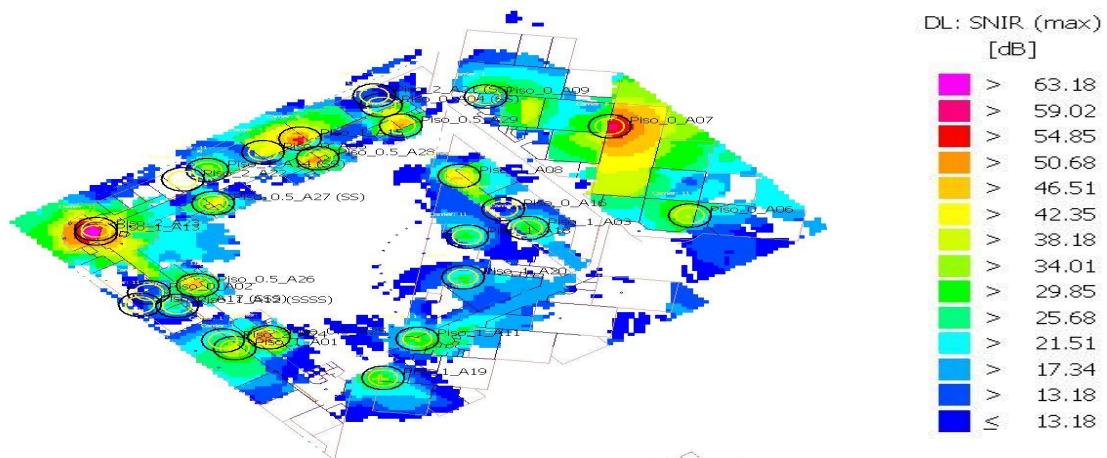


Figura D.14 - Análise do SNIR do piso 1 edifício A

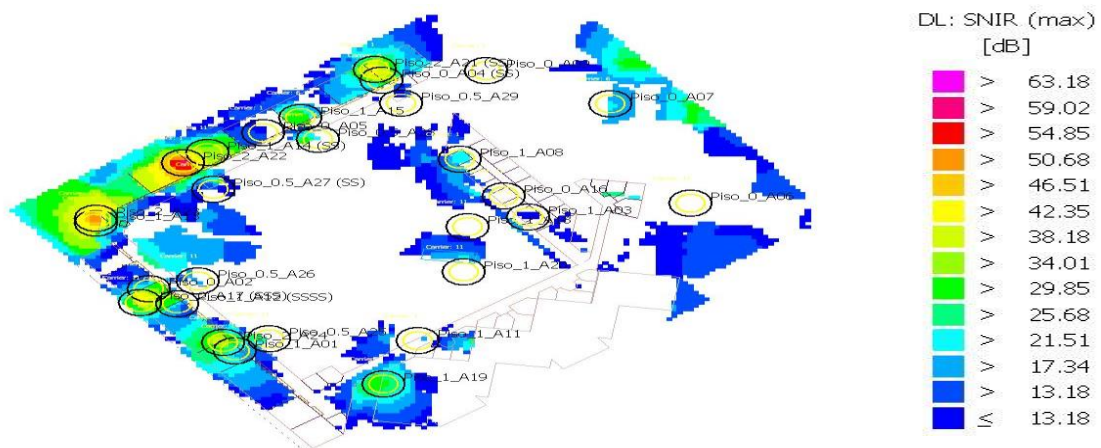


Figura D.15 - Análise do SNIR do piso 2 edifício A

Máxima taxa de débito binário

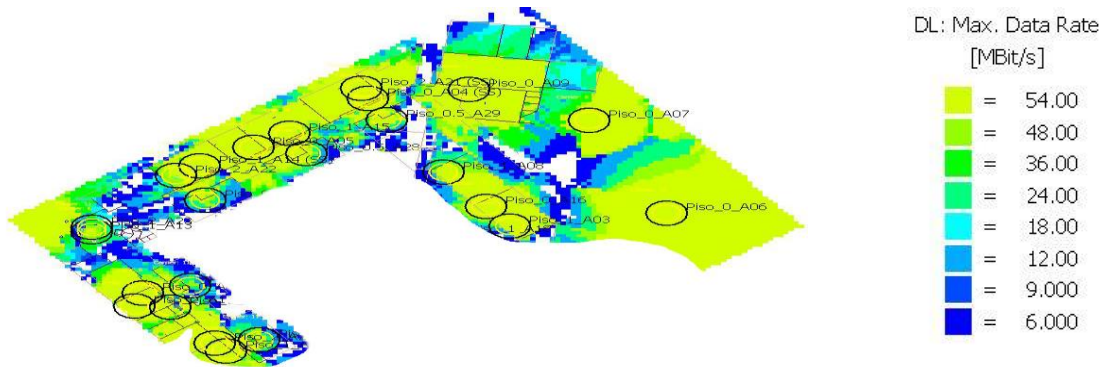


Figura D.16 - Máximo débito binário do piso 0 edifício A

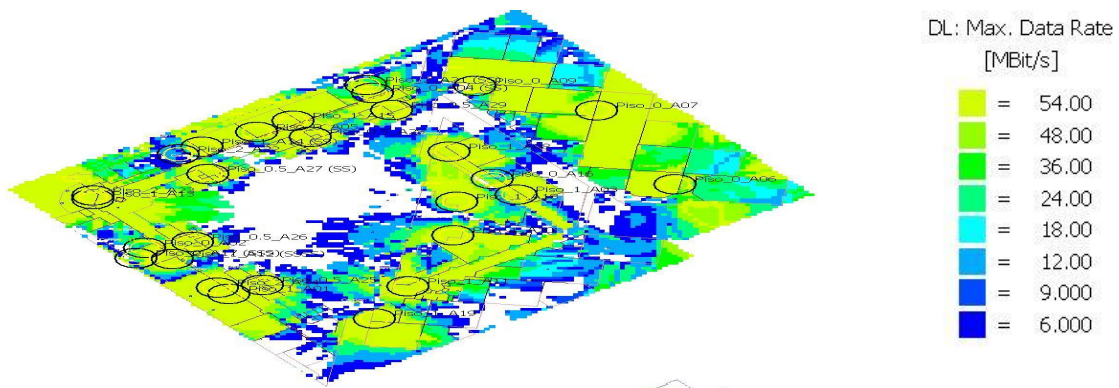


Figura D.17 - Máximo débito binário do piso 1 edifício A

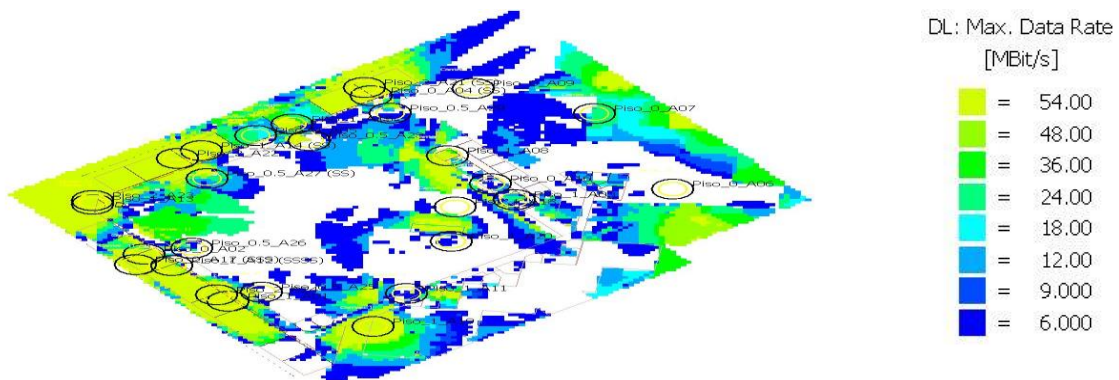


Figura D.18 - Máximo débito binário do piso 2 edifício A

Probabilidade de Recepção para 24 MBit/s

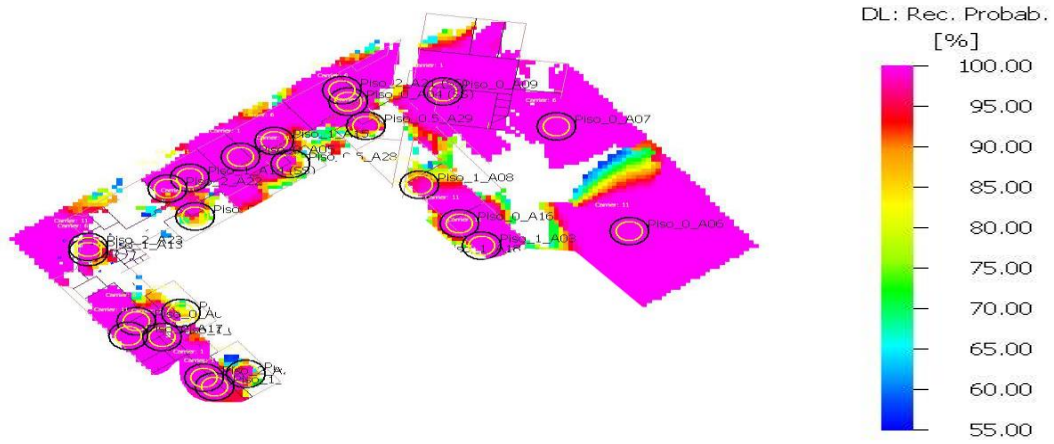


Figura D.19 - Probabilidade de recepção para 24 Mbit/s do piso 0 edifício A

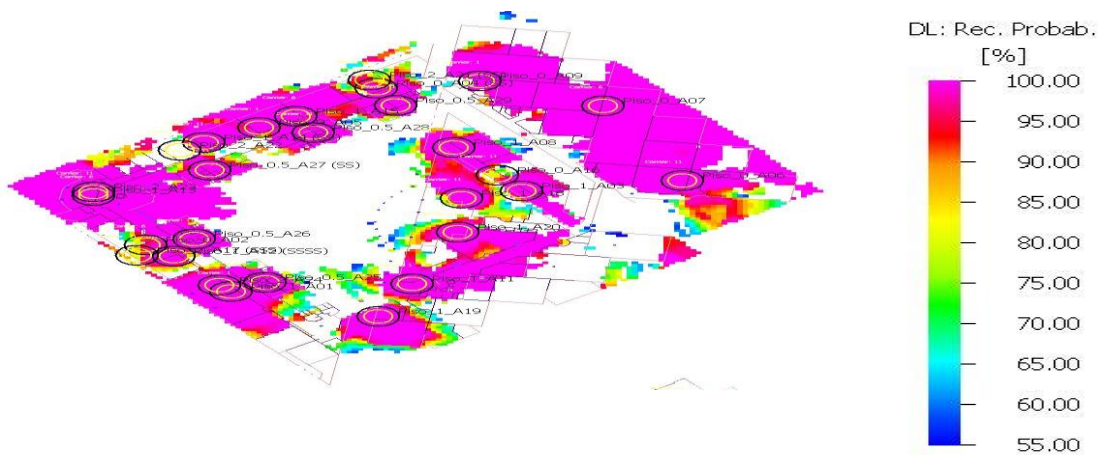


Figura D.20 - Probabilidade de recepção para 24 Mbit/s do piso 1 edifício A

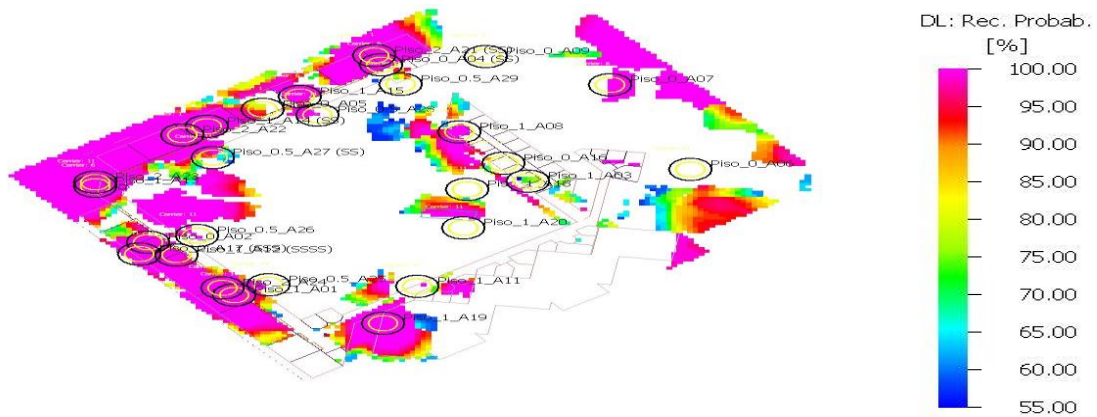


Figura D.21 - Probabilidade de recepção para 24 Mbit/s do piso 2 edifício A

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

E. Simulações do edifício B

Área das células

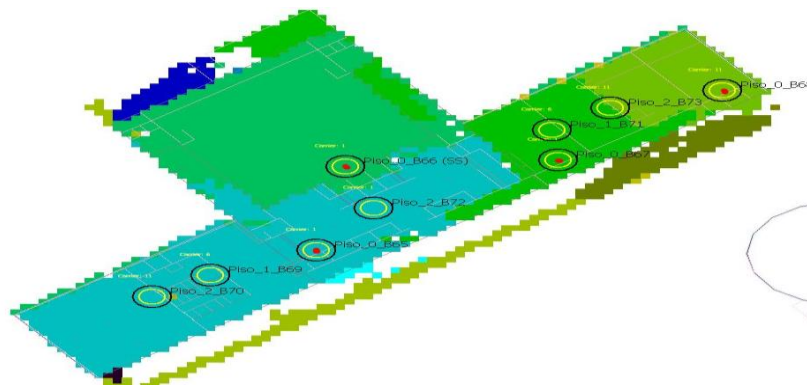


Figura E.1 - Área das células Piso 0 Edifício B

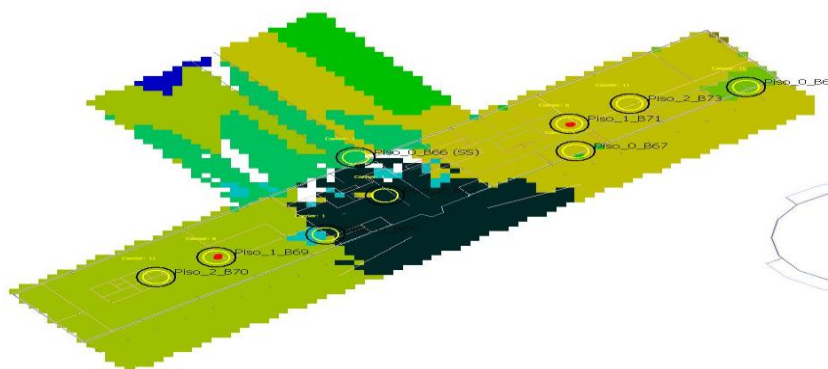


Figura E.2 - Área das células Piso 1 Edifício B

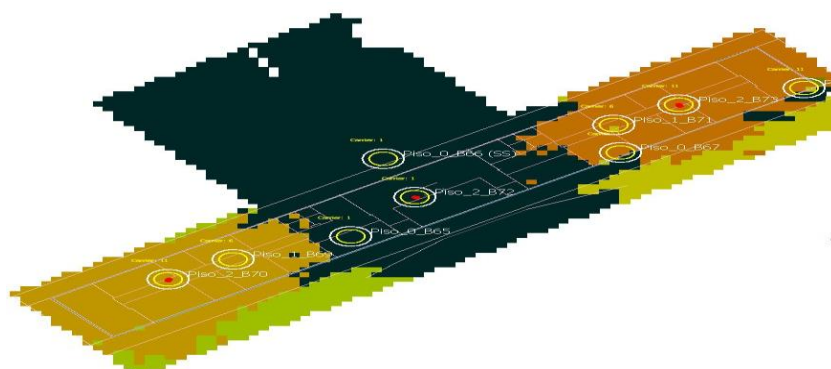


Figura E.3 - Área das células Piso 2 Edifício B

Número de portadoras recibidas

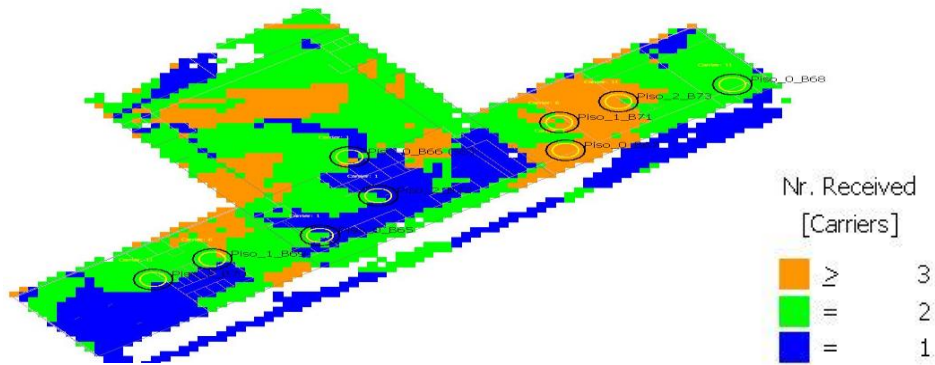


Figura E.4 - Número de portadoras recibidas no piso 0 do edifício B

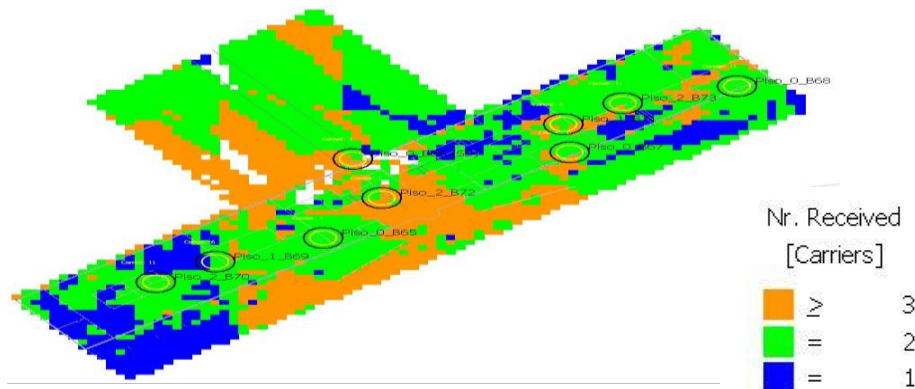


Figura E.5 - Número de portadoras recibidas no piso 1 do edifício B

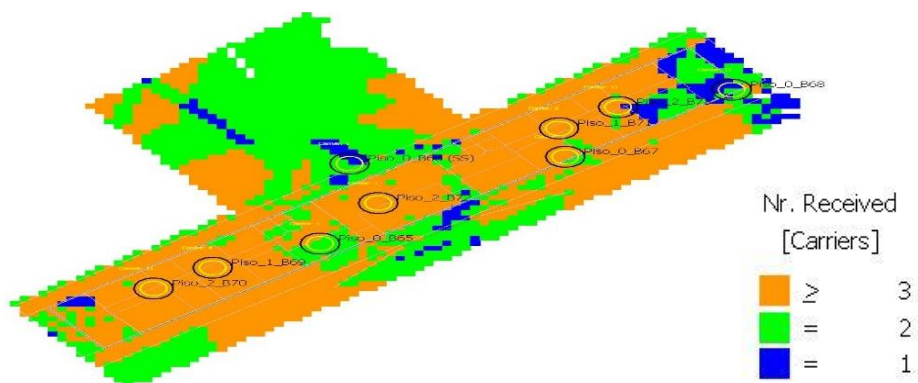


Figura E.6 - Número de portadoras recibidas no piso 2 do edifício B

Portadora dominante

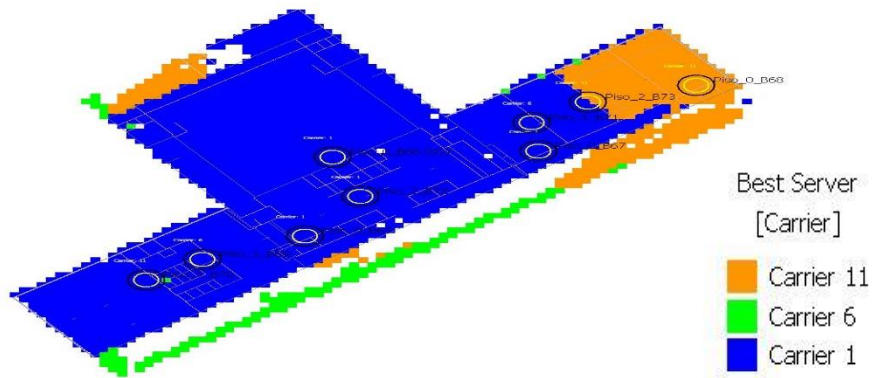


Figura E.7 - Portadora dominante do piso 0 edifício B

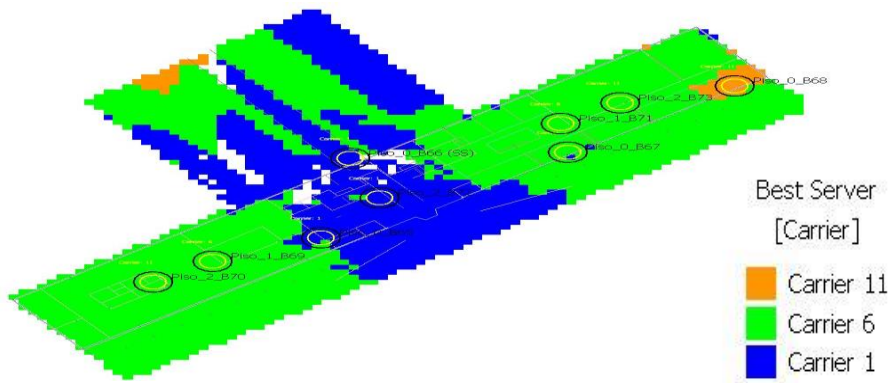


Figura E.8 - Portadora dominante do piso 1 edifício B

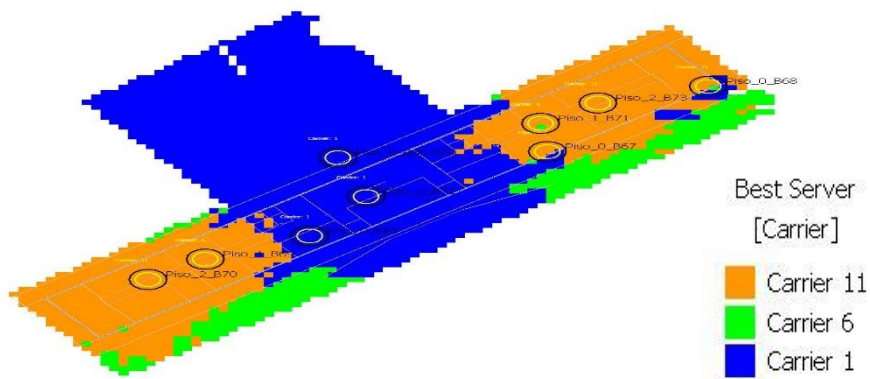


Figura E.9 - Portadora dominante do piso 2 edifício B

Máximo sinal recebido

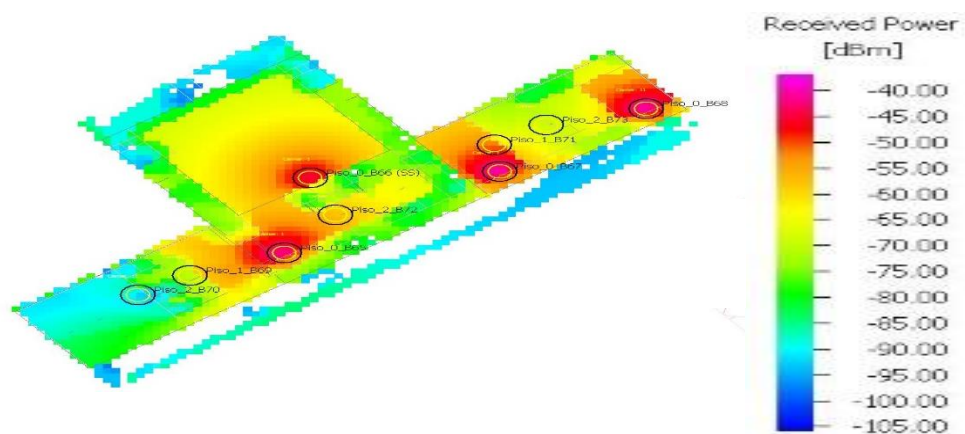


Figura E.10 - Máximo sinal recebido no piso 0 do edifício B

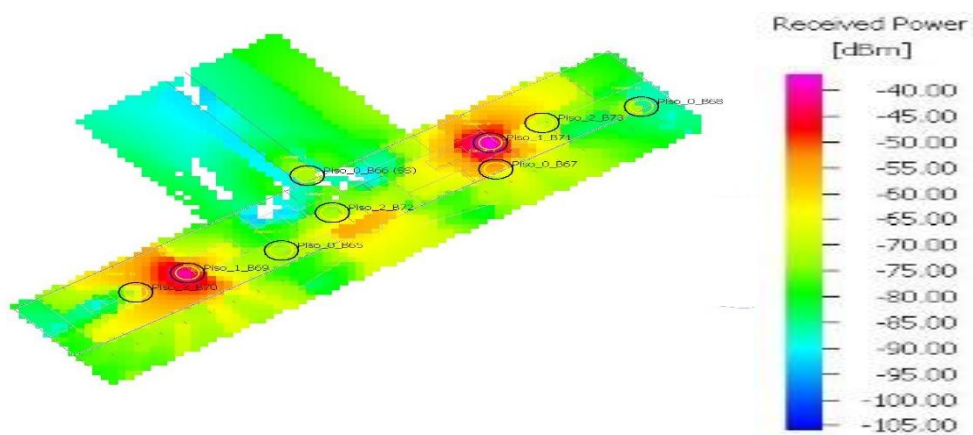


Figura E.11 - Máximo sinal recebido no piso 1 do edifício B

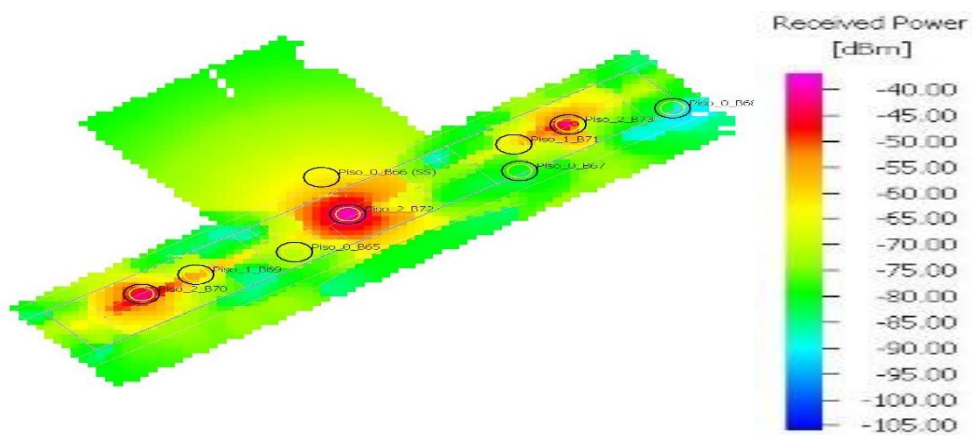


Figura E.12 - Máximo sinal recebido no piso 2 do edifício B

Análise do SNIR

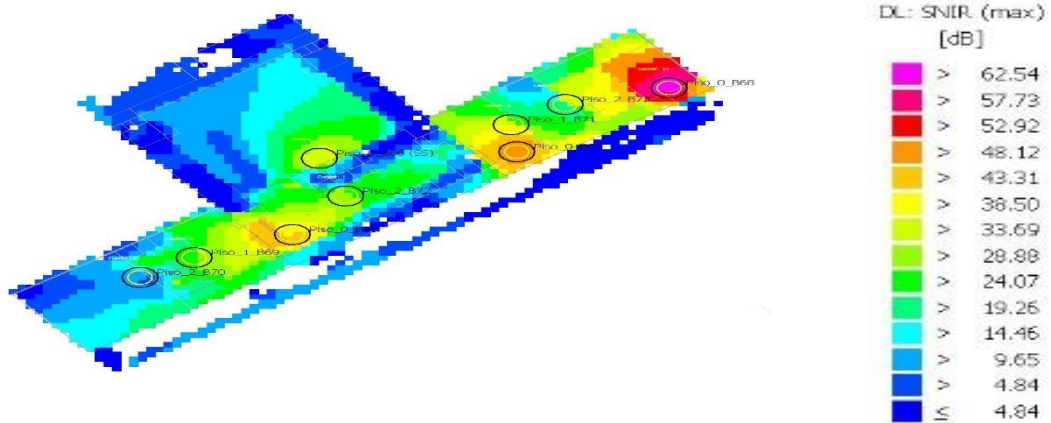


Figura E.13 - Análise do SNIR do piso 0 edifício B

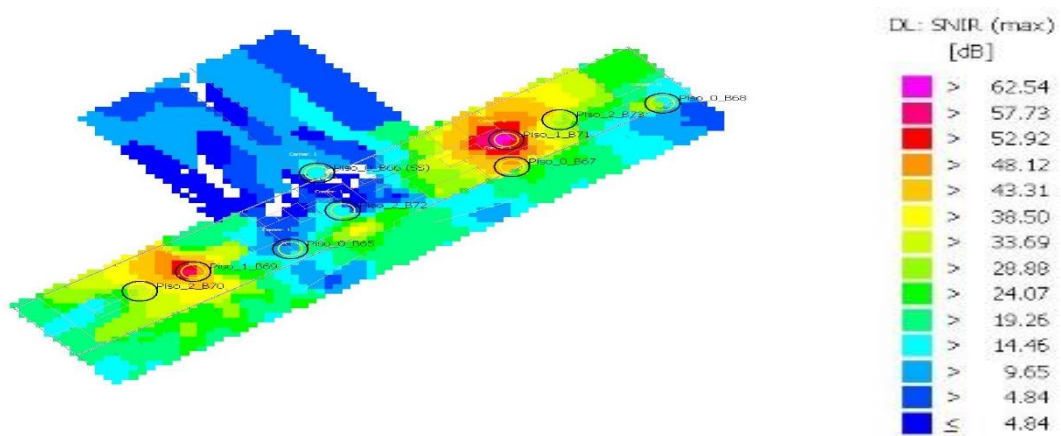


Figura E.14 - Análise do SNIR do piso 1 edifício B

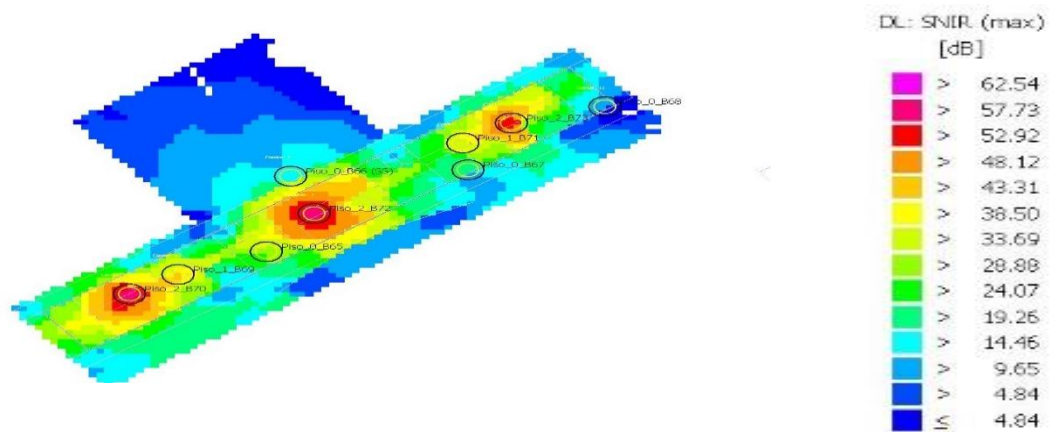


Figura E.15 - Análise do SNIR do piso 2 edifício B

Máxima taxa de débito binário

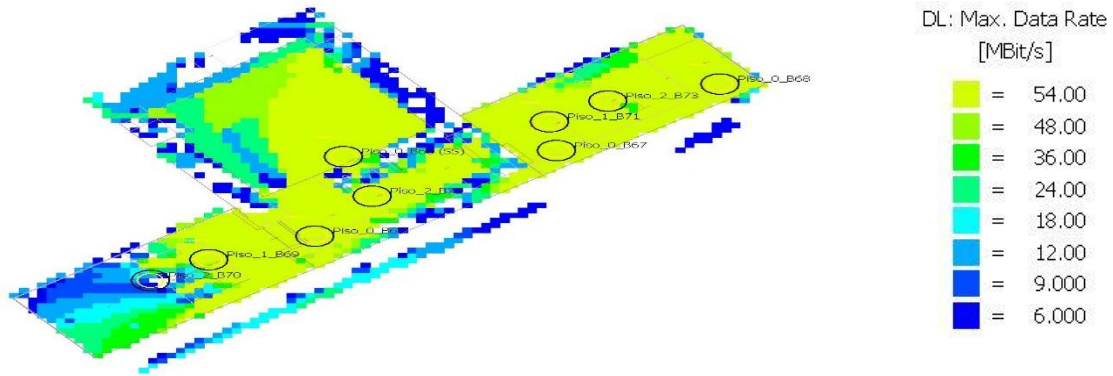


Figura E.16 - Máximo débito binário do piso 0 edifício B

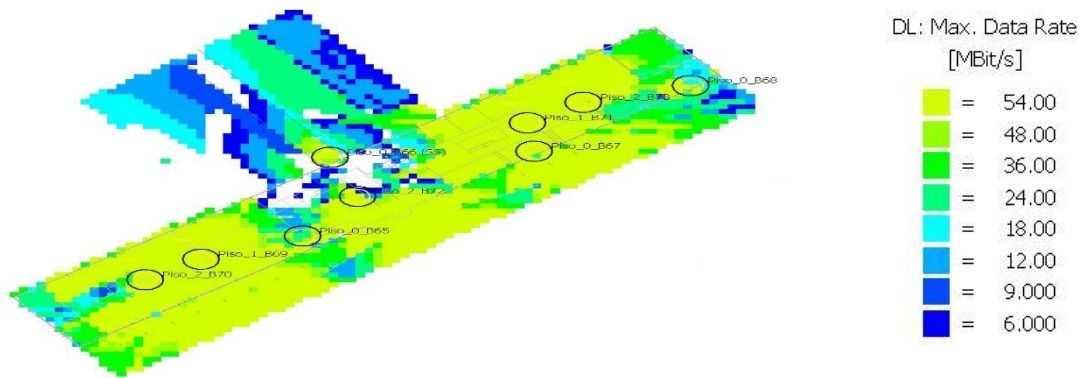


Figura E.17 - Máximo débito binário do piso 1 edifício B

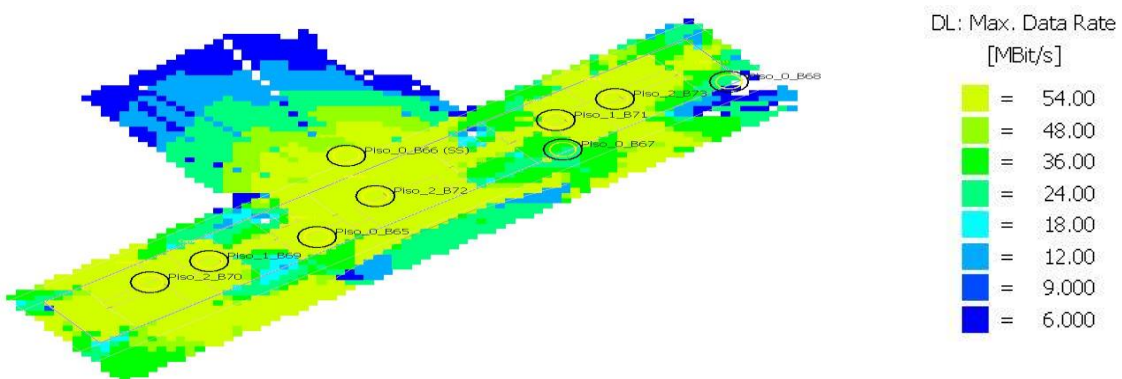


Figura E.18 - Máximo débito binário do piso 2 edifício B

Probabilidade de Recepção para 24 MBit/s

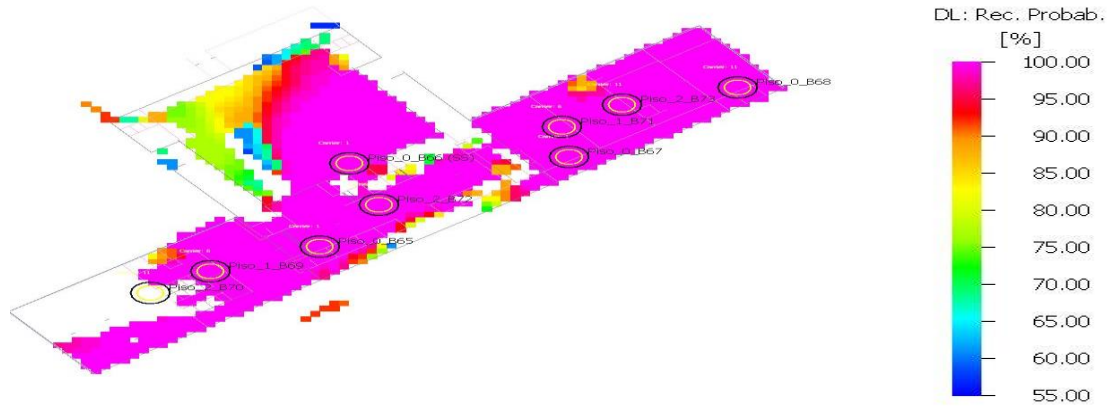


Figura E.19 - Probabilidade de recepção para 24 Mbit/s do piso 0 edifício B

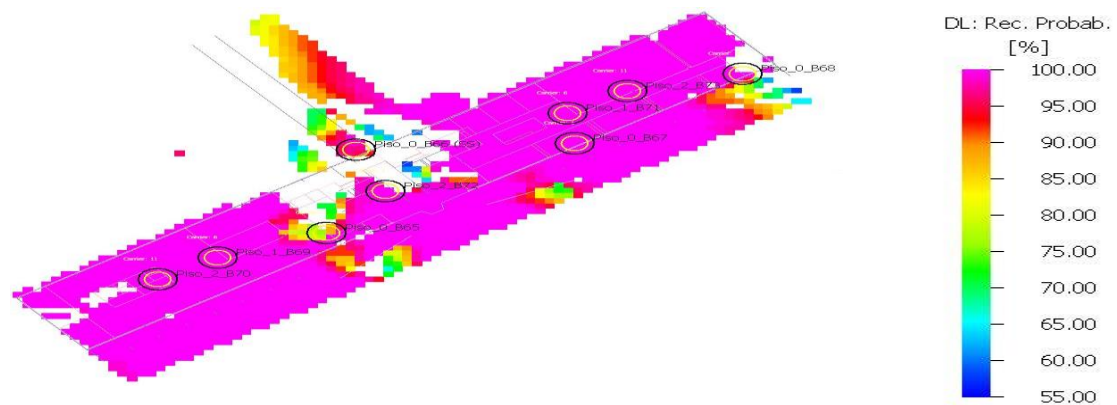


Figura E.20 - Probabilidade de recepção para 24 Mbit/s do piso 1 edifício B

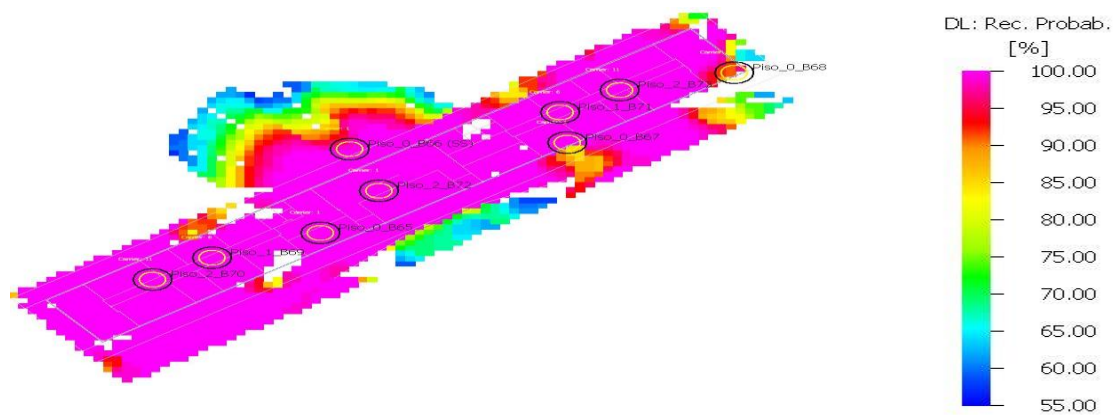


Figura E.21 - Probabilidade de recepção para 24 Mbit/s do piso 2 edifício B

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

F. Simulações do edifício C

Área das células

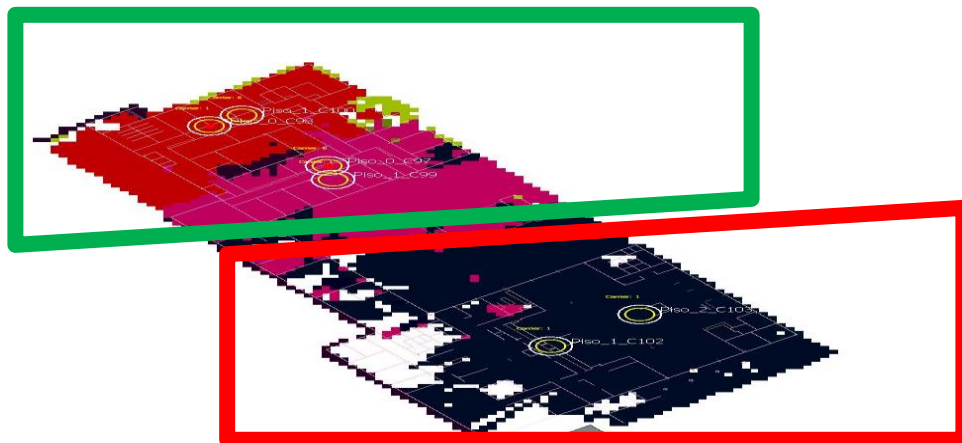


Figura F.1 - Área das células Piso 0 Edifício C

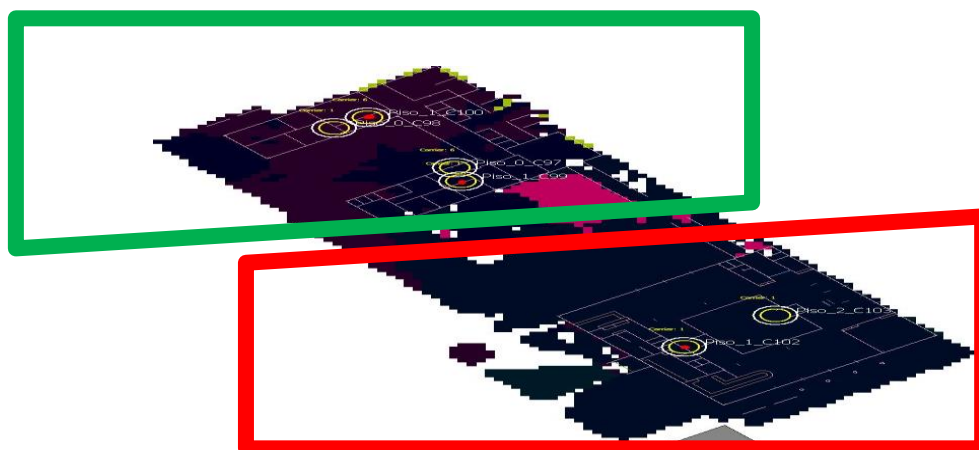


Figura F.2 - Área das células Piso 1 Edifício C

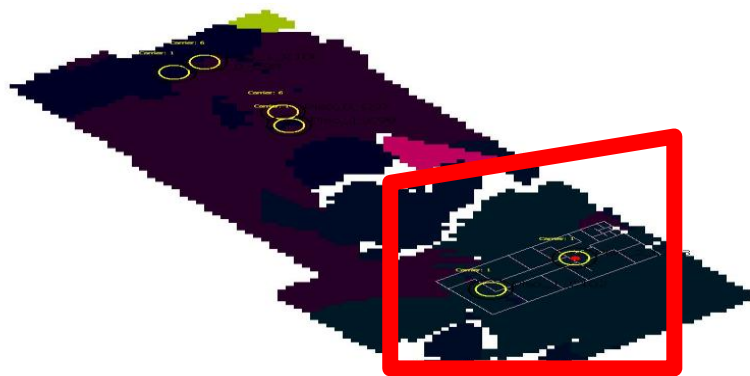


Figura F.3 - Área das células Piso 2 (Creche) Edifício C

Número de portadoras recebidas

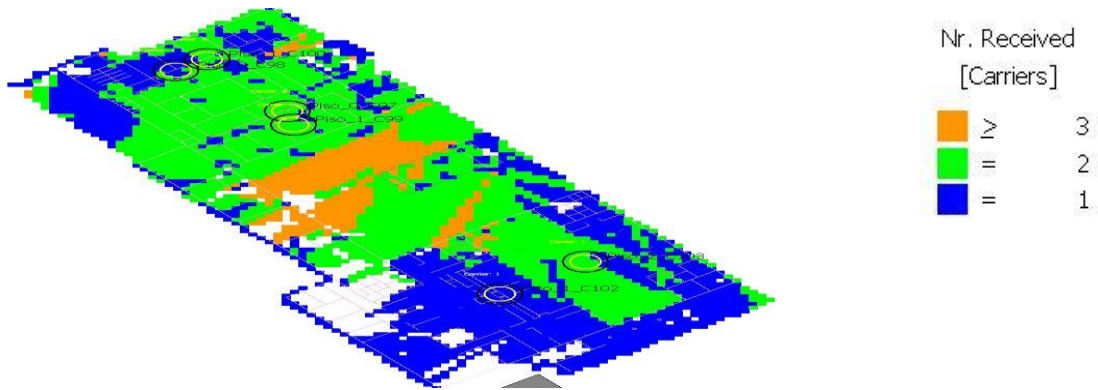


Figura F.4 - Número de portadoras recebidas no piso 0 do edifício C

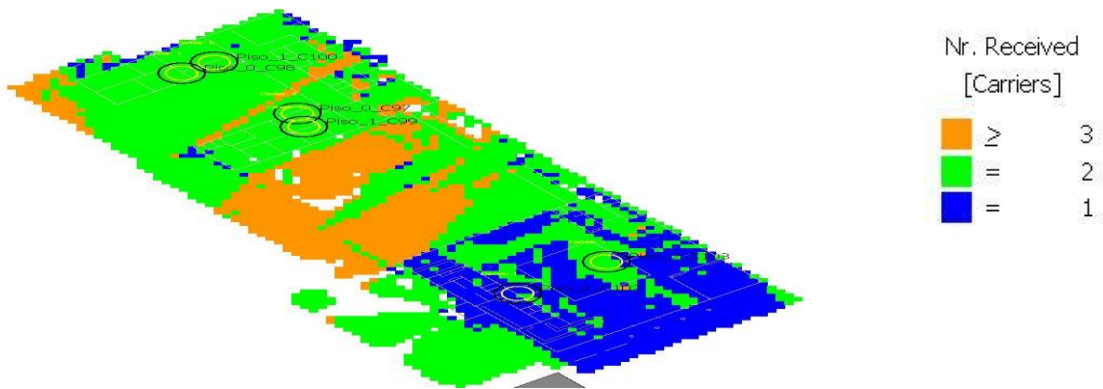


Figura F.5 - Número de portadoras recebidas no piso 1 do edifício C

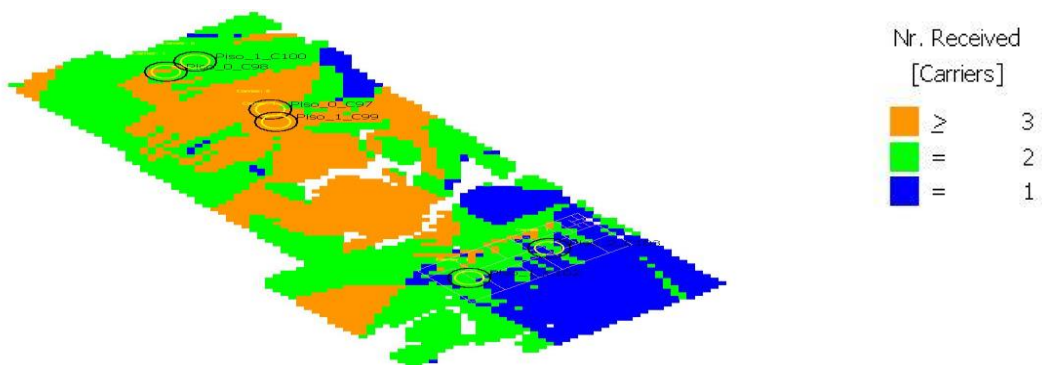


Figura F.6 - Número de portadoras recebidas no piso 2 do edifício C

Portadora dominante

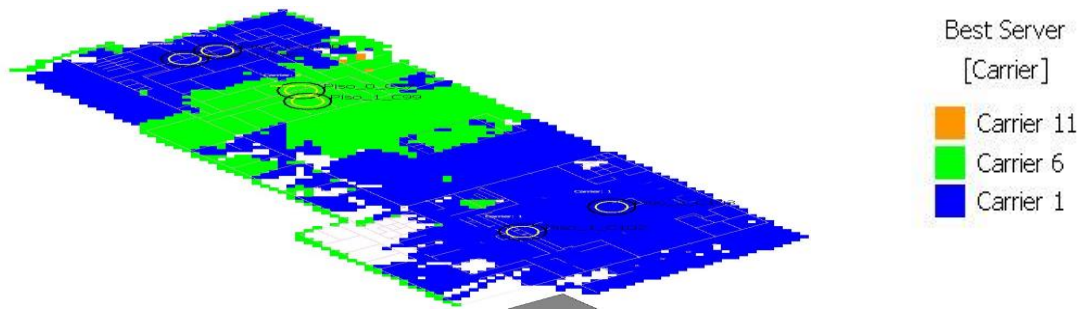


Figura F.7 - Portadora dominante do piso 0 edifício C

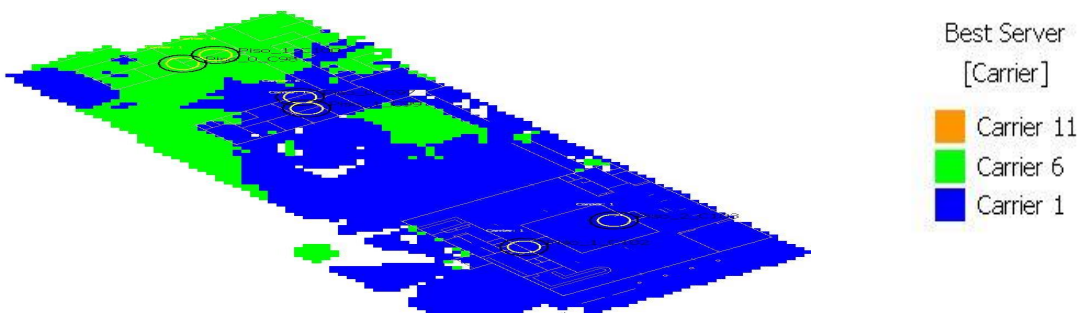


Figura F.8 - Portadora dominante do piso 1 edifício C

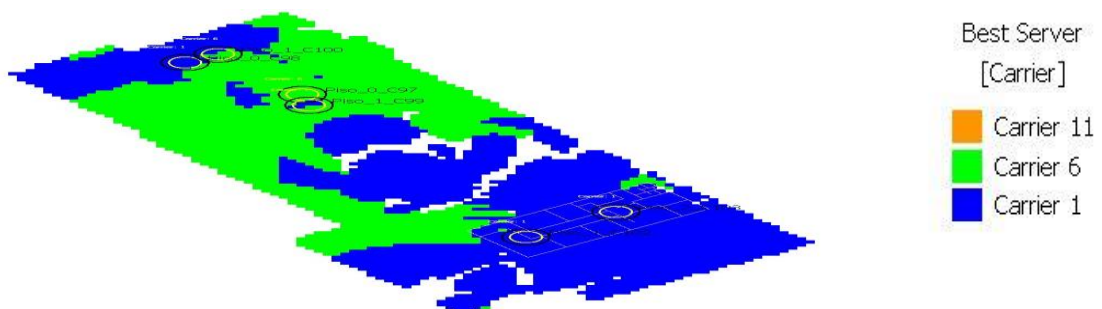


Figura F.9 - Portadora dominante do piso 2 edifício C

Máximo sinal recebido

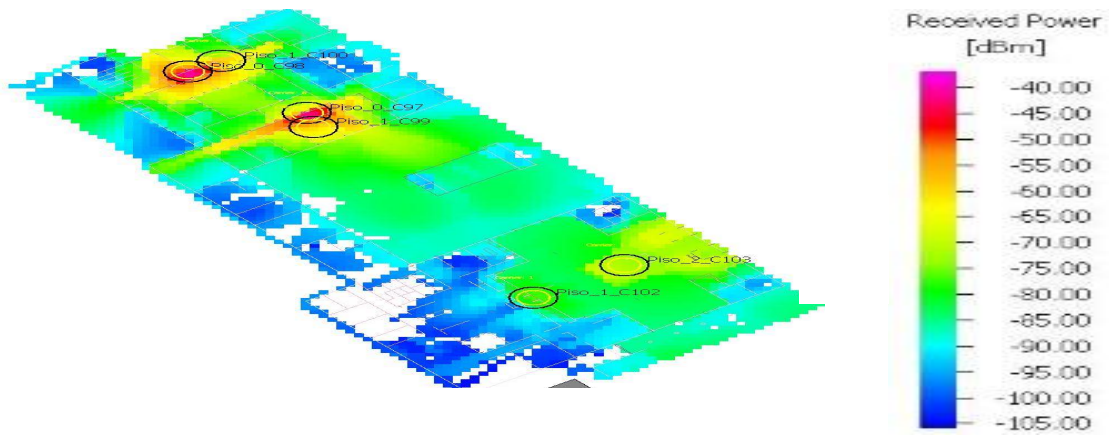


Figura F.10 - Máximo sinal recebido no piso 0 do edifício C

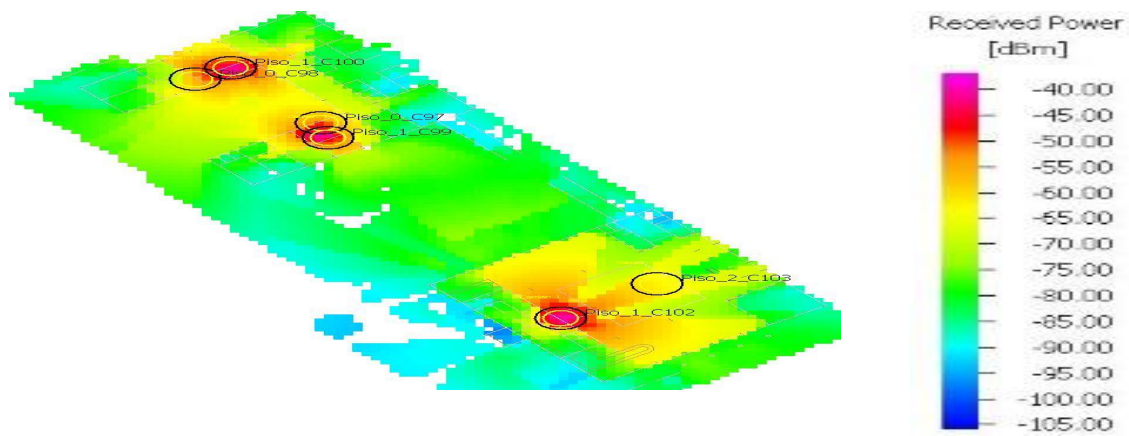


Figura F.11 - Máximo sinal recebido no piso 1 do edifício C

Análise do SNIR

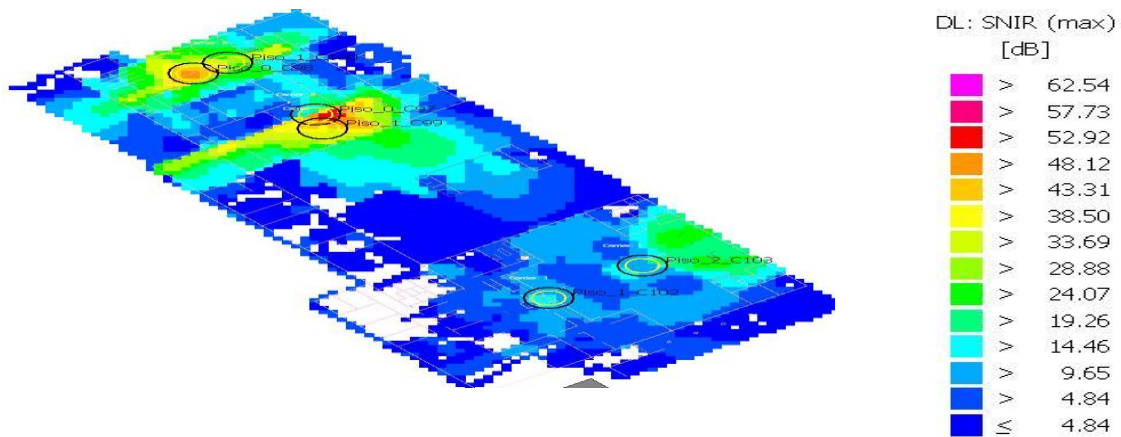


Figura F.12 - Análise do SNIR do piso 0 edifício C

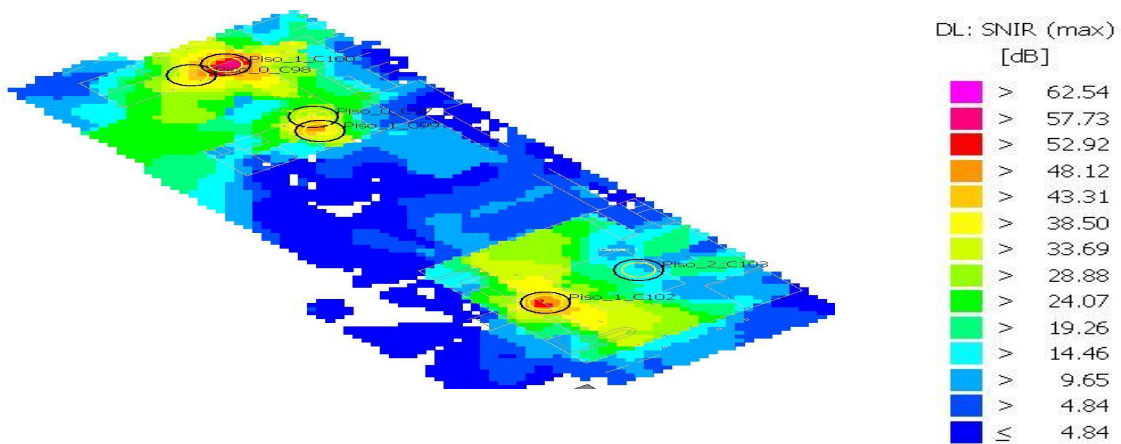


Figura F.13 - Análise do SNIR do piso 1 edifício C

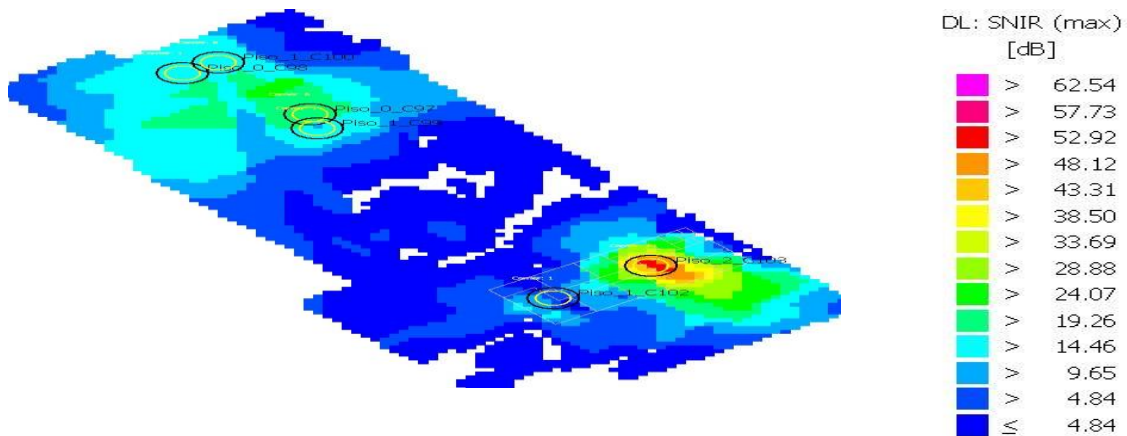


Figura F.14 - Análise do SNIR do piso 2 edifício C

Máxima taxa de débito binário

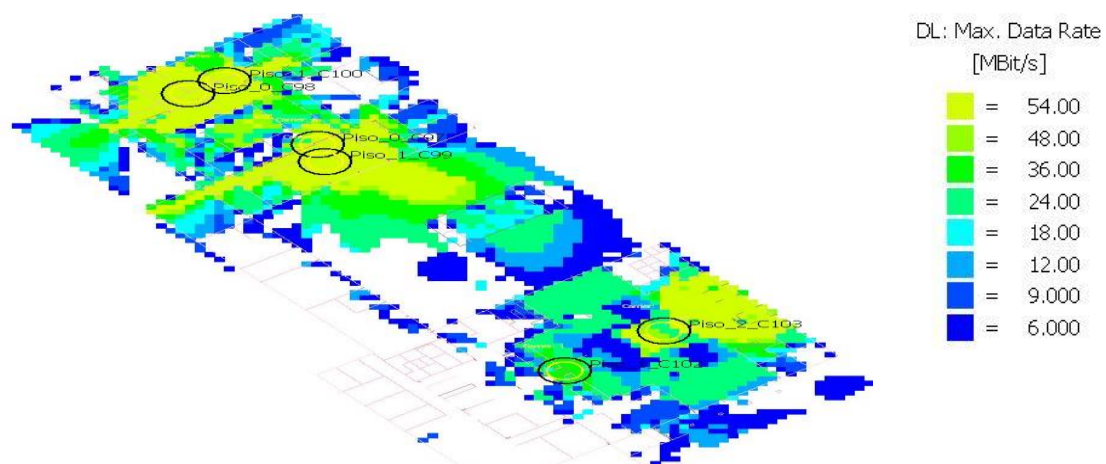


Figura F.15 - Máximo débito binário do piso 0 edifício C

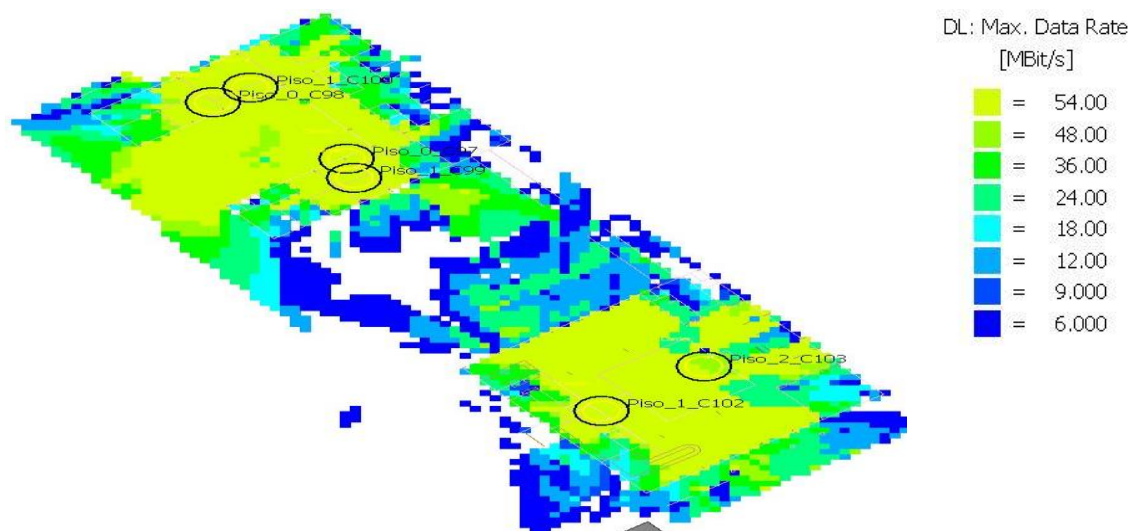


Figura F.16 - Máximo débito binário do piso 1 edifício C

Probabilidade de Recepção para 24 MBit/s

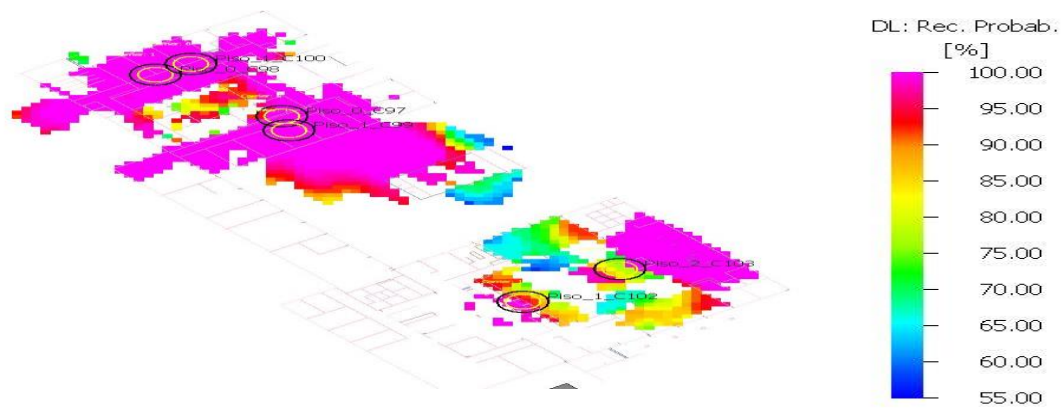


Figura F.17 - Probabilidade de recepção para 24 Mbit/s do piso 0 edifício C

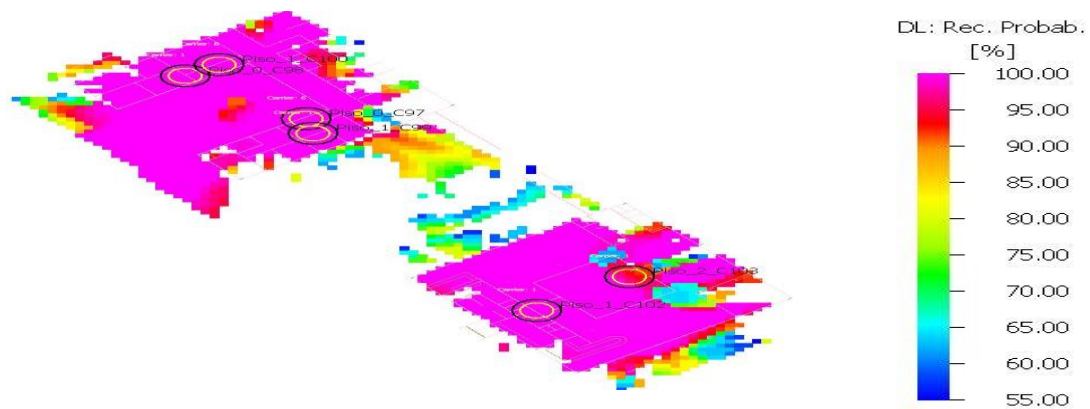


Figura F.18 - Probabilidade de recepção para 24 Mbit/s do piso 1 edifício C

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

G. Simulações do edifício D

Área das células

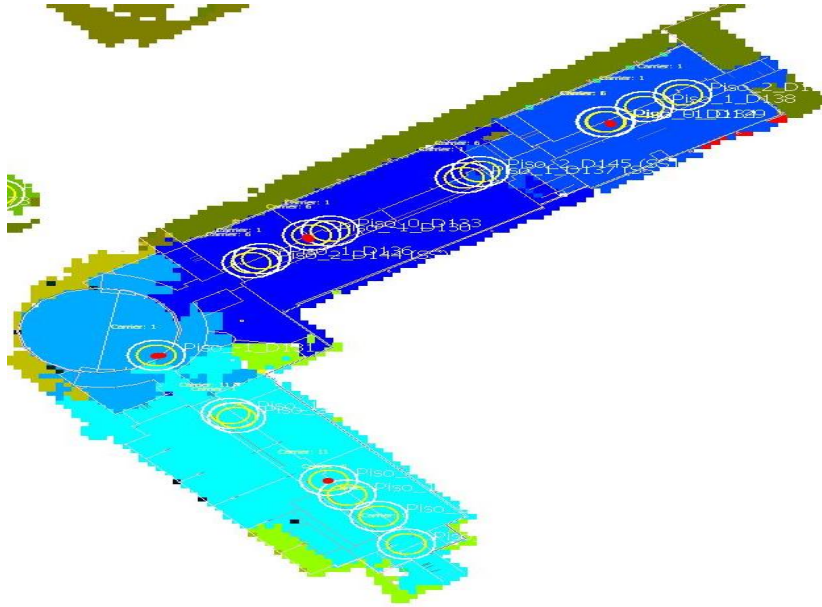


Figura G.1 - Área das células Piso -1 Edifício D

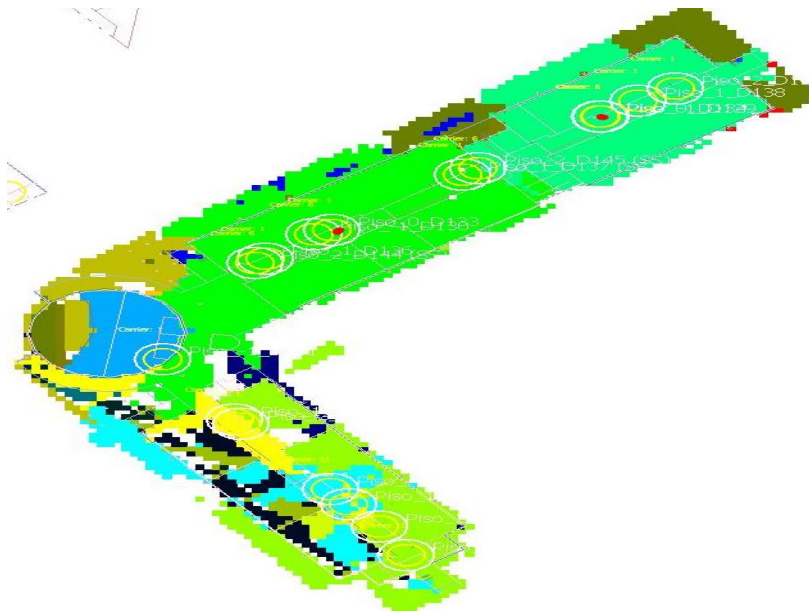


Figura G.2 - Área das células Piso 0 Edifício D

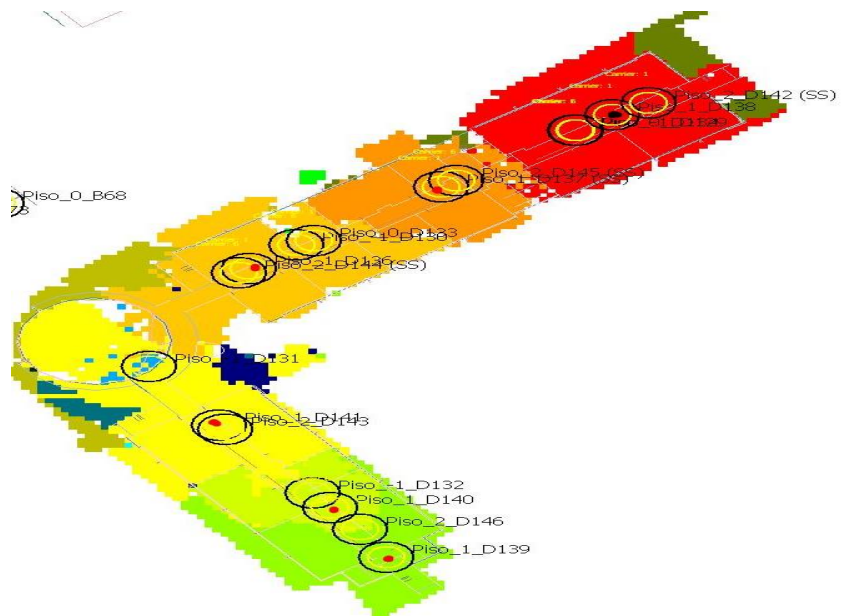


Figura G.3 - Área das células Piso 1 Edifício D

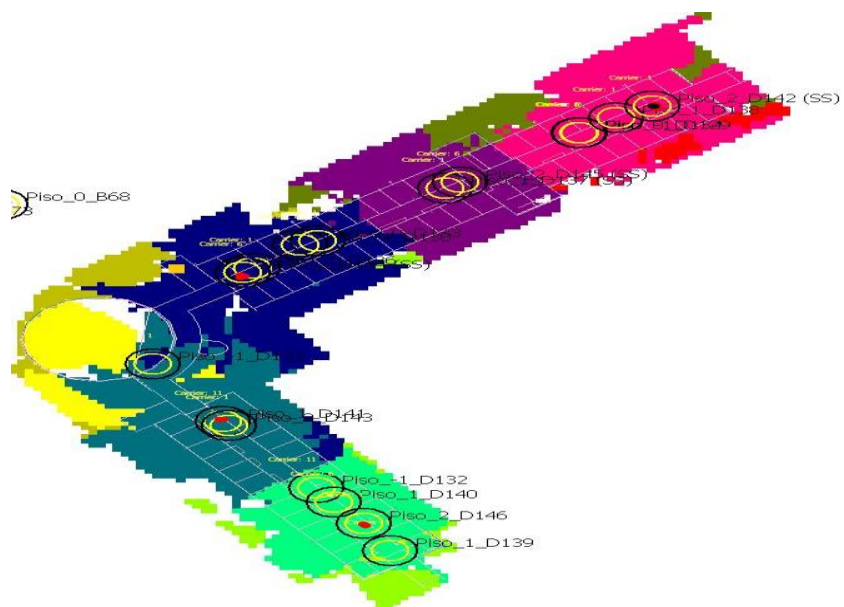


Figura G.4 - Área das células Piso 2 Edifício D

Número de portadoras recebidas

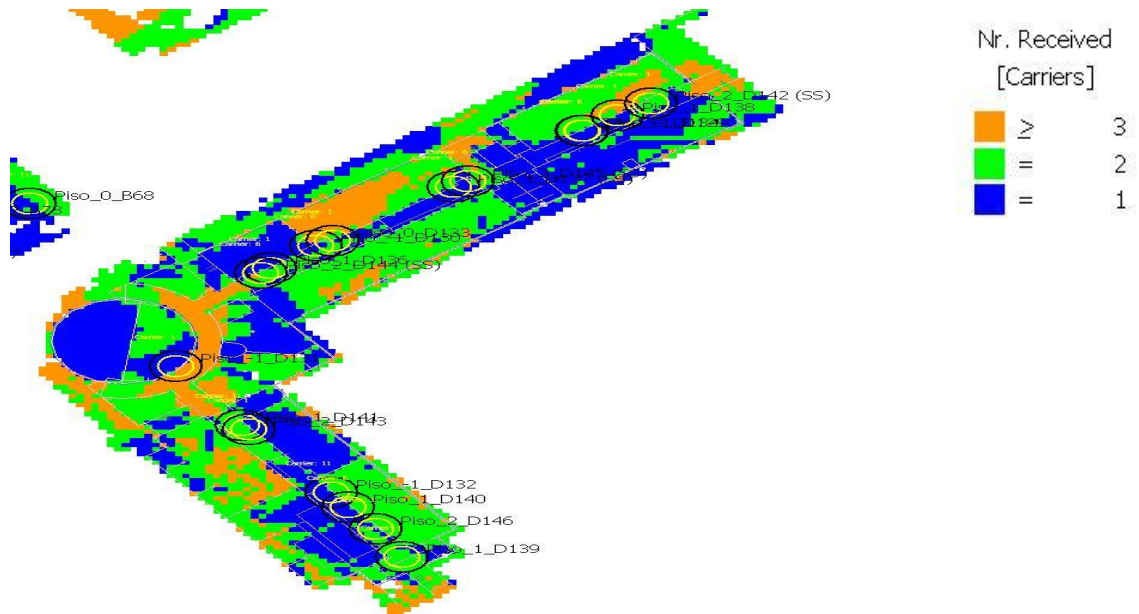


Figura G.5 - Número de portadoras recebidas no piso -1 do edifício D

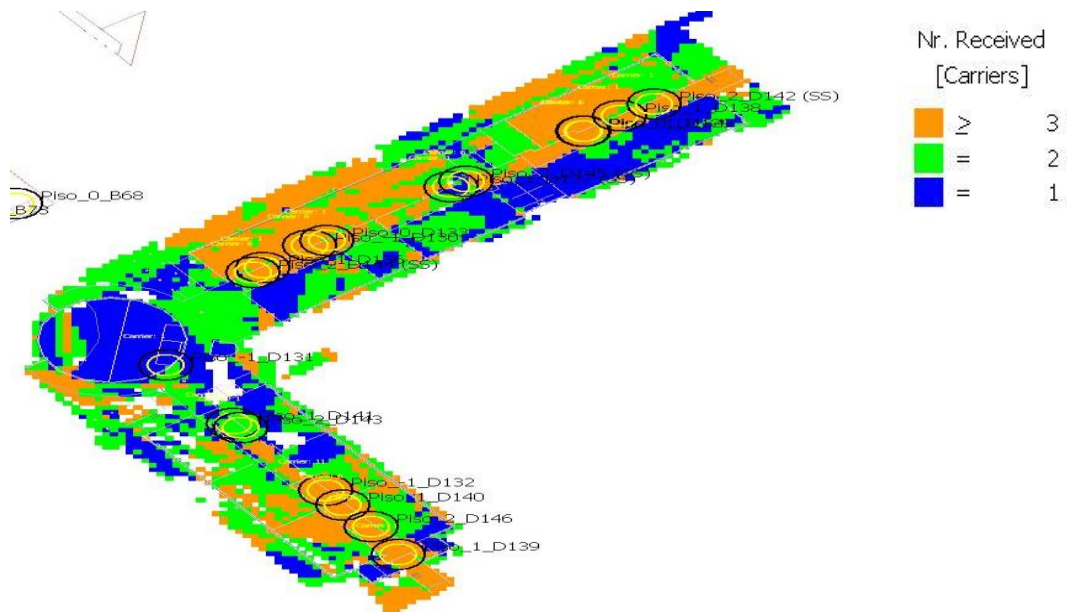


Figura G.6 - Número de portadoras recebidas no piso 0 do edifício D

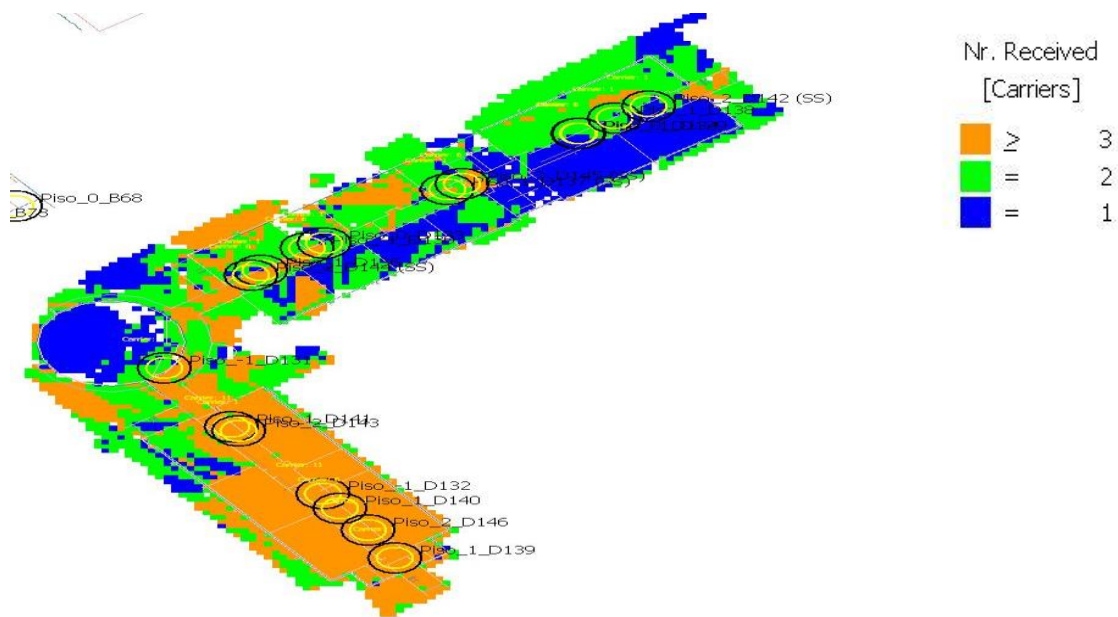


Figura G.7 - Número de portadoras recebidas no piso 1 do edifício D

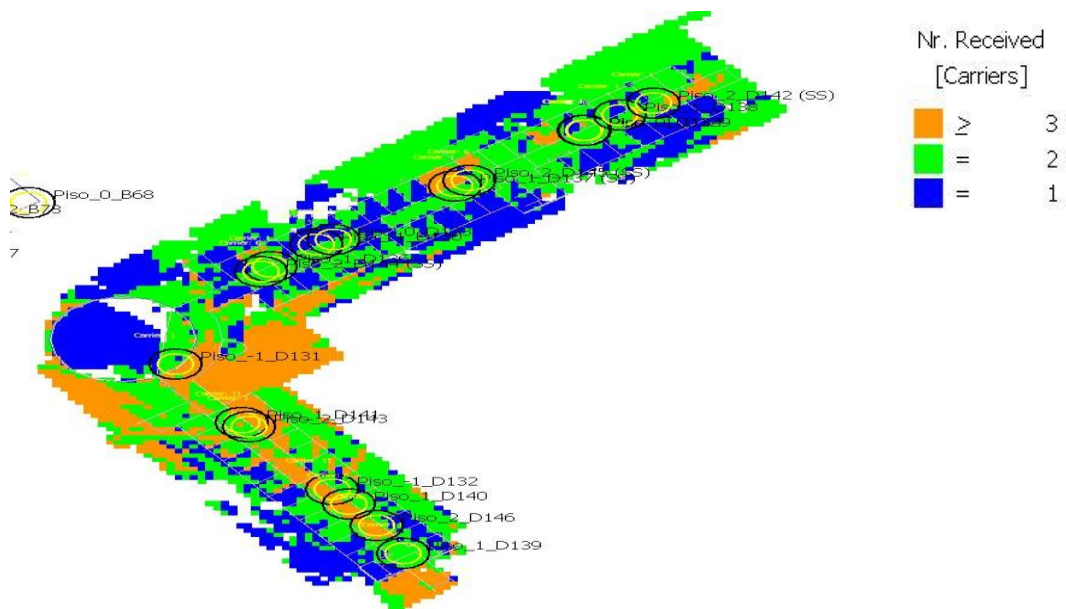


Figura G.8 - Número de portadoras recebidas no piso 2 do edifício D

Portadora dominante

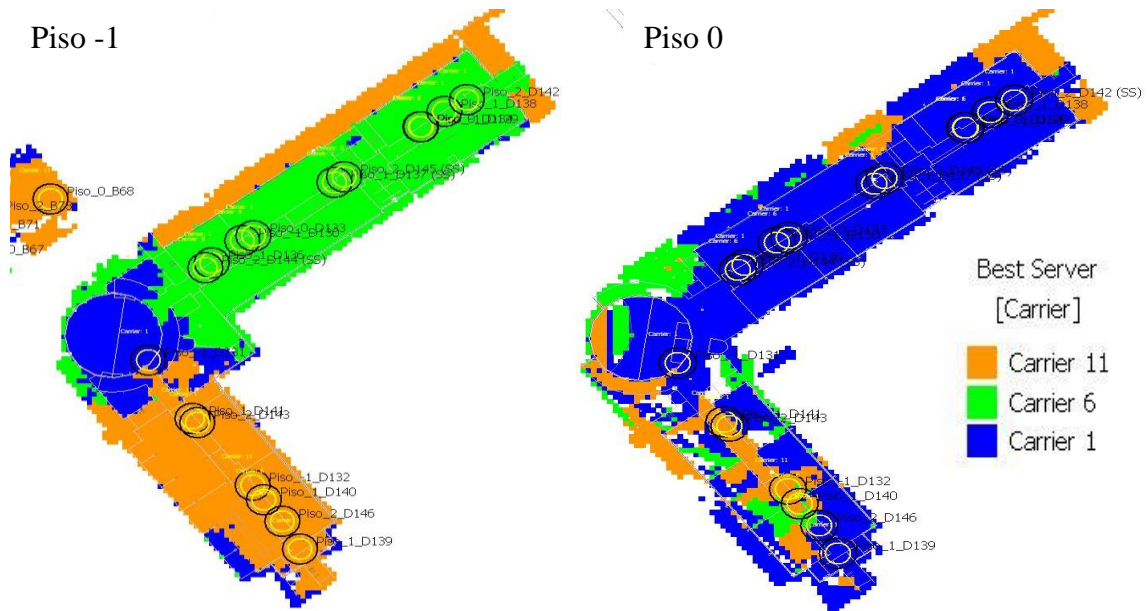


Figura G.9 - Portadora dominante do piso -1 e piso 0 edifício D

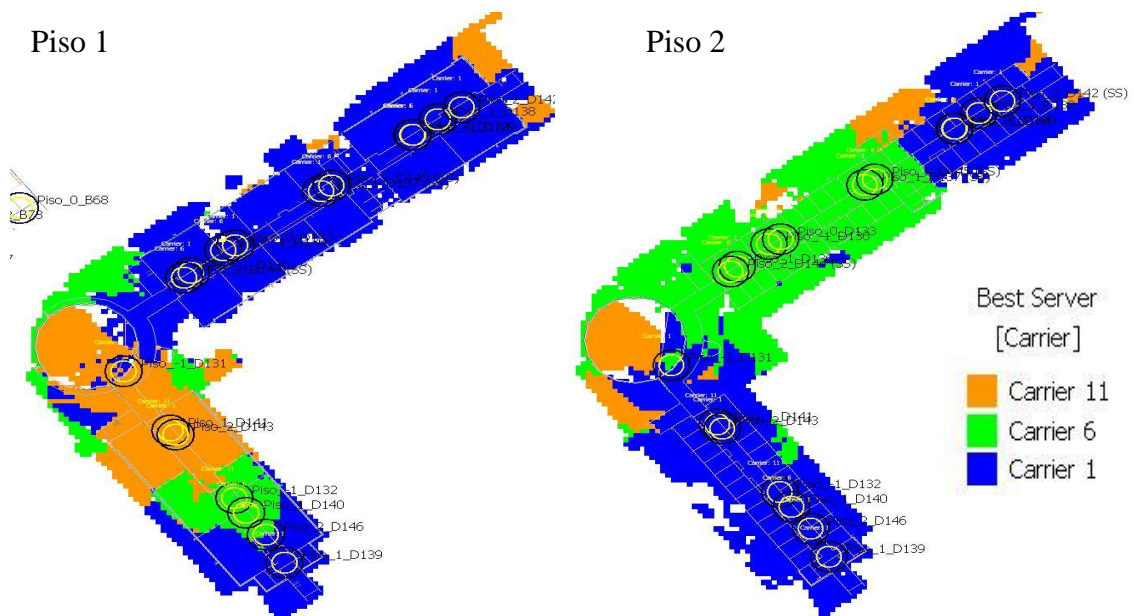


Figura G.10 - Portadora dominante do piso 1 e do piso 2 edifício D

Máximo sinal recebido

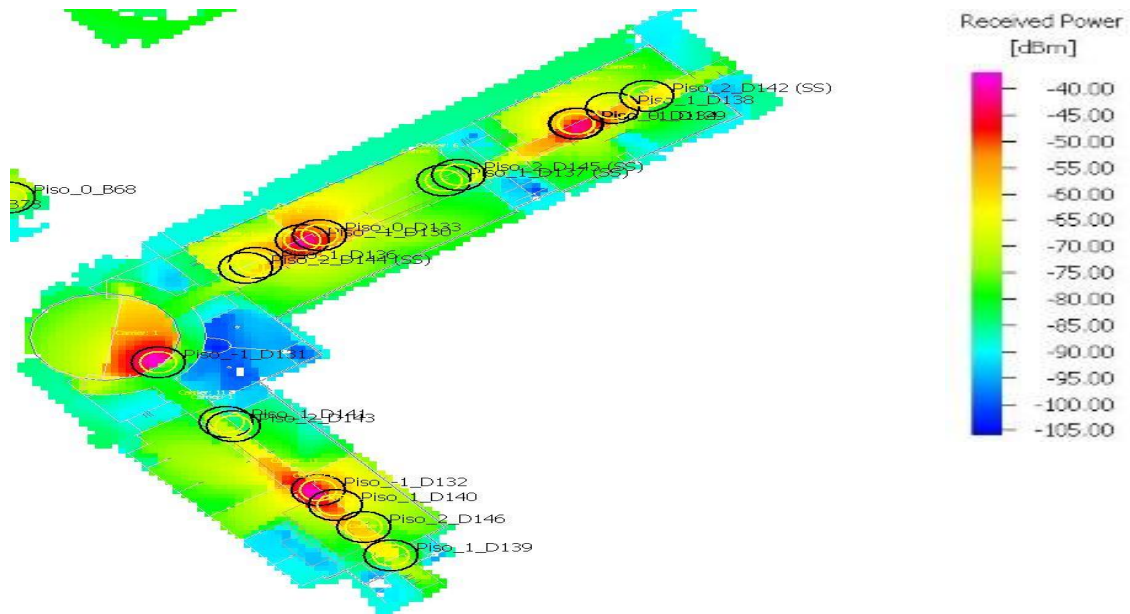


Figura G.11 - Máximo sinal recebido no piso -1 do edifício D

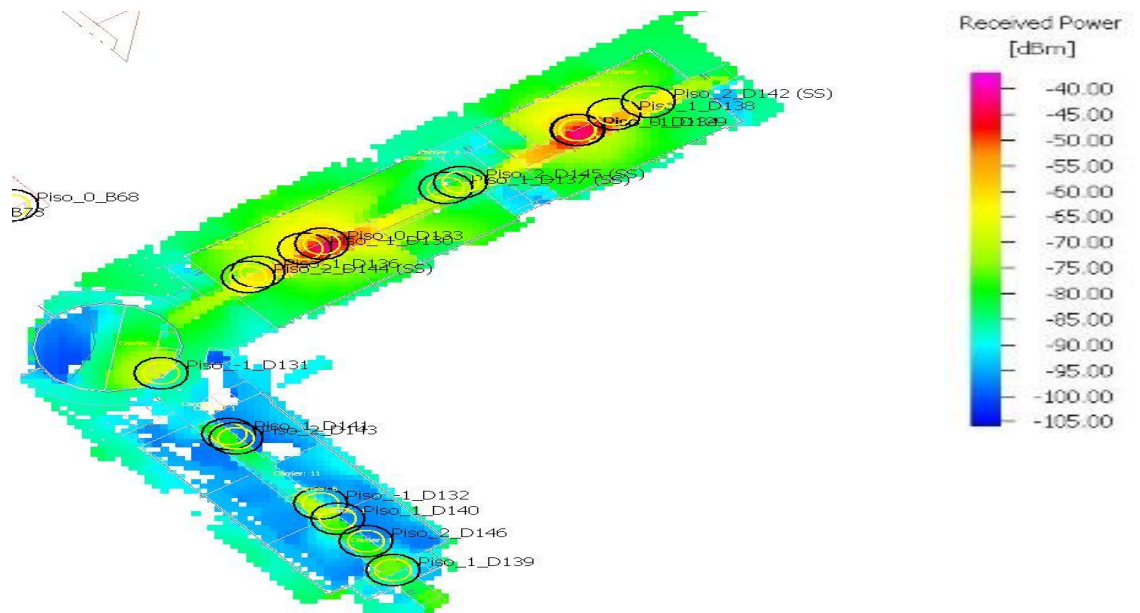


Figura G.12 - Máximo sinal recebido no piso 0 do edifício D

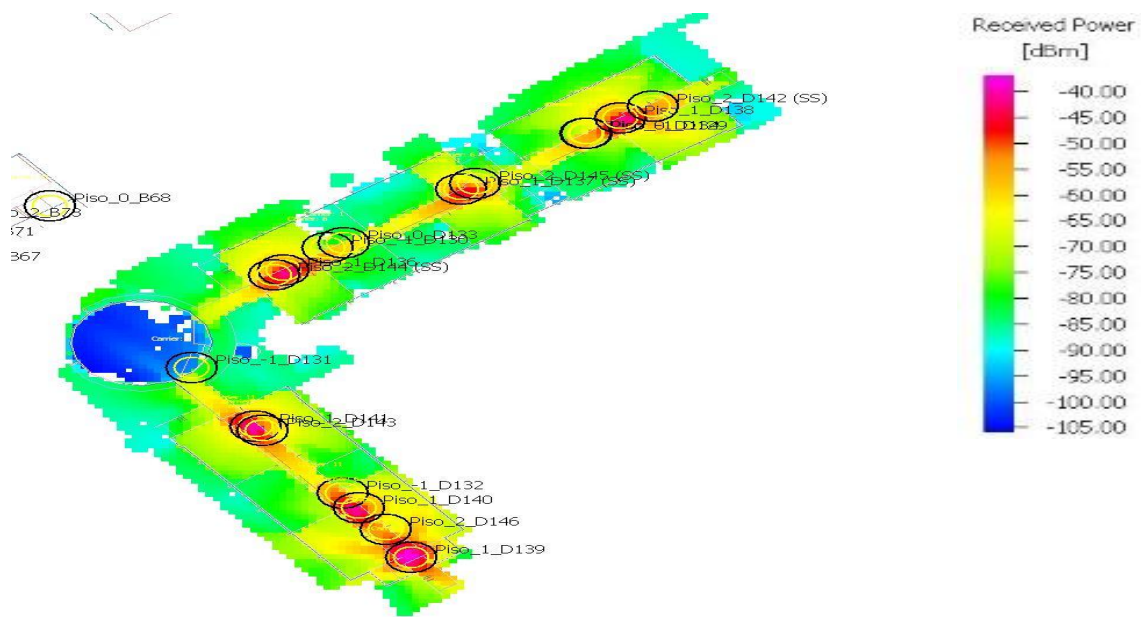


Figura G.13 - Máximo sinal recebido no piso 1 do edifício D

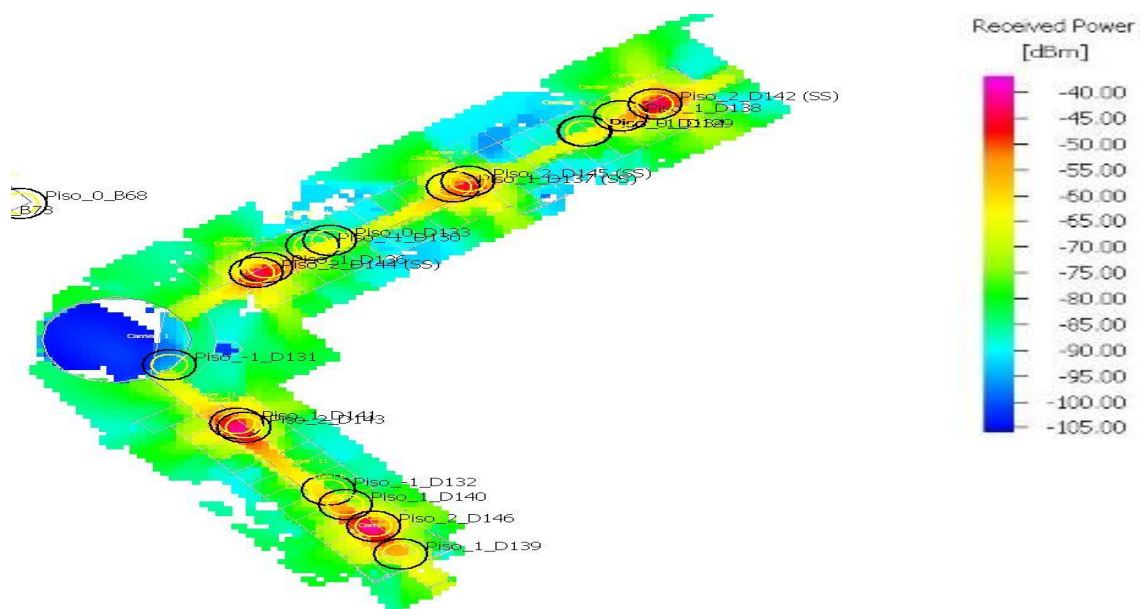


Figura G.14 - Máximo sinal recebido no piso 2 do edifício D

Análise do SNIR

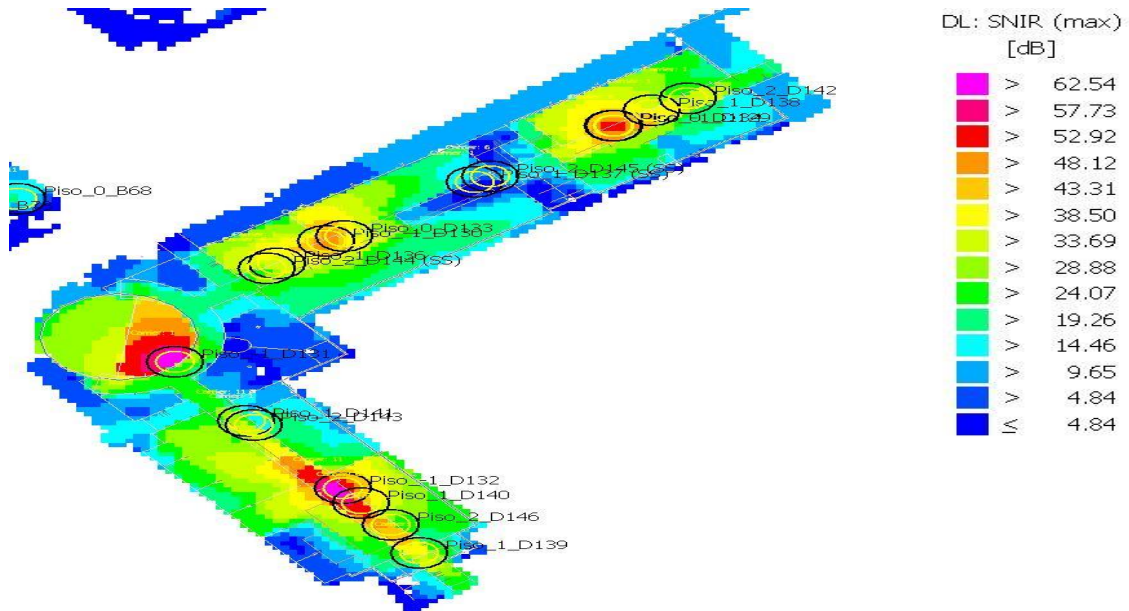


Figura G.15 - Análise do SNIR do piso -1 edifício D

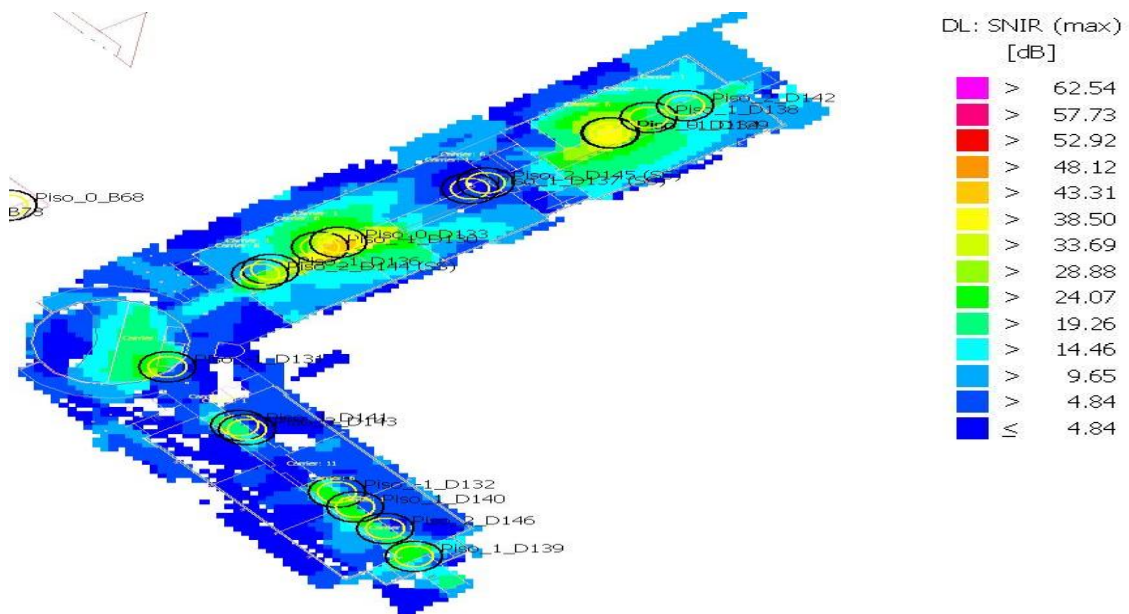


Figura G.16 - Análise do SNIR do piso 0 edifício D

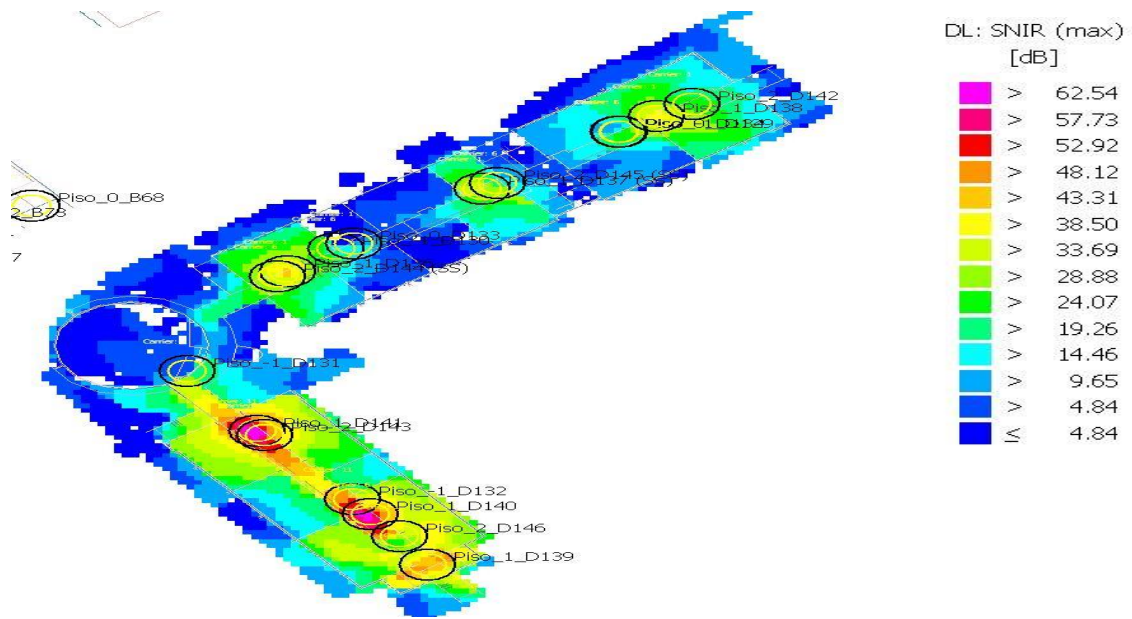


Figura G.17 - Análise do SNIR do piso 1 edifício D

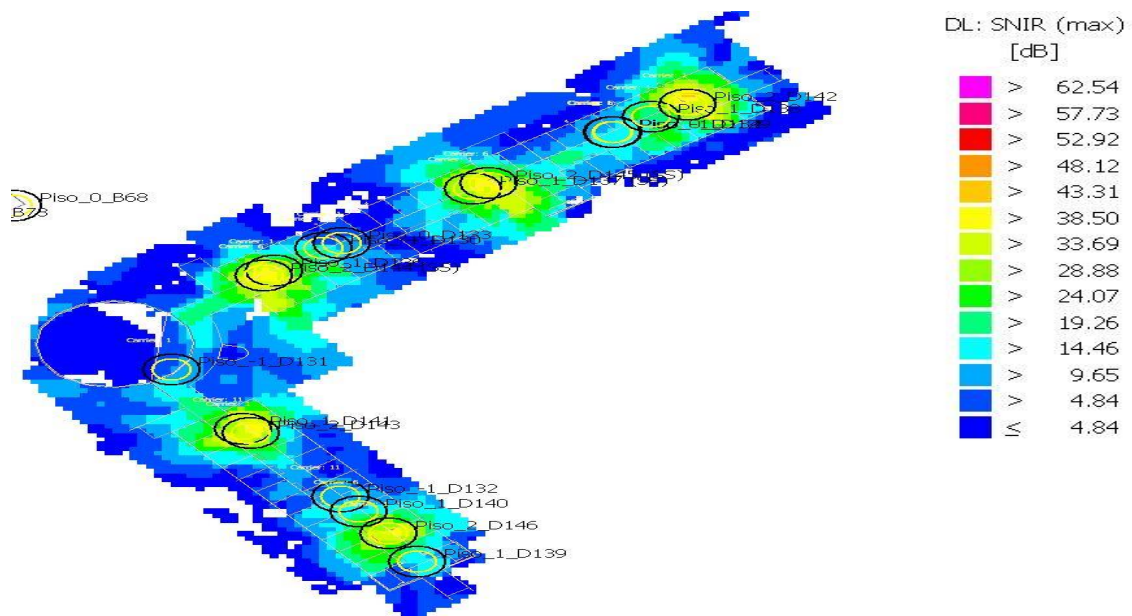


Figura G.18 - Análise do SNIR do piso 2 edifício D

Máxima taxa de débito binário

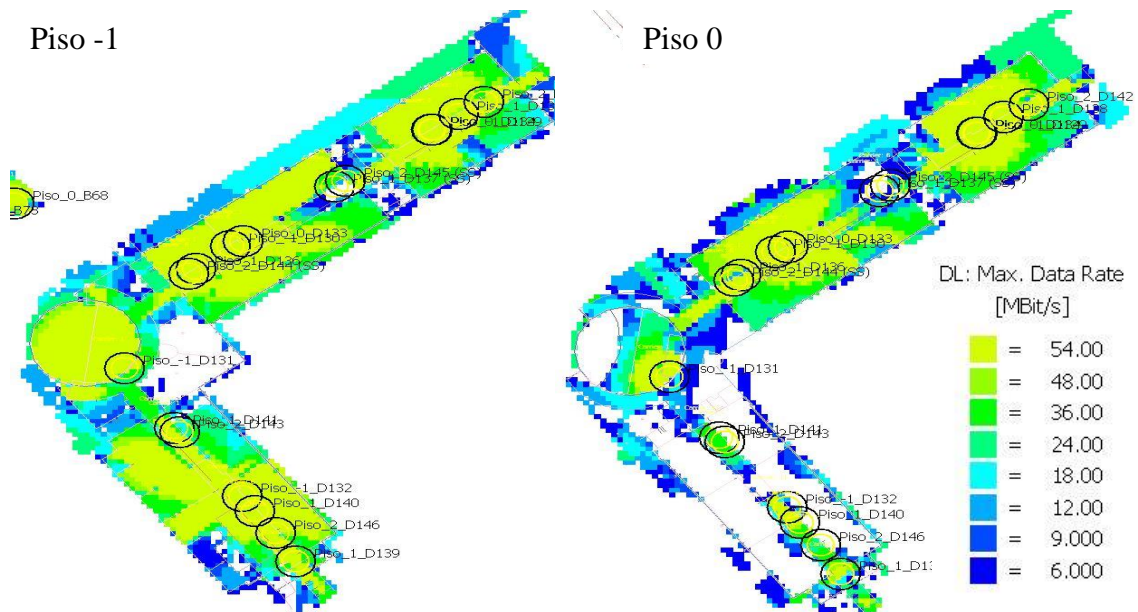


Figura G.19 - Máximo débito binário do piso -1 e piso 0 edifício D

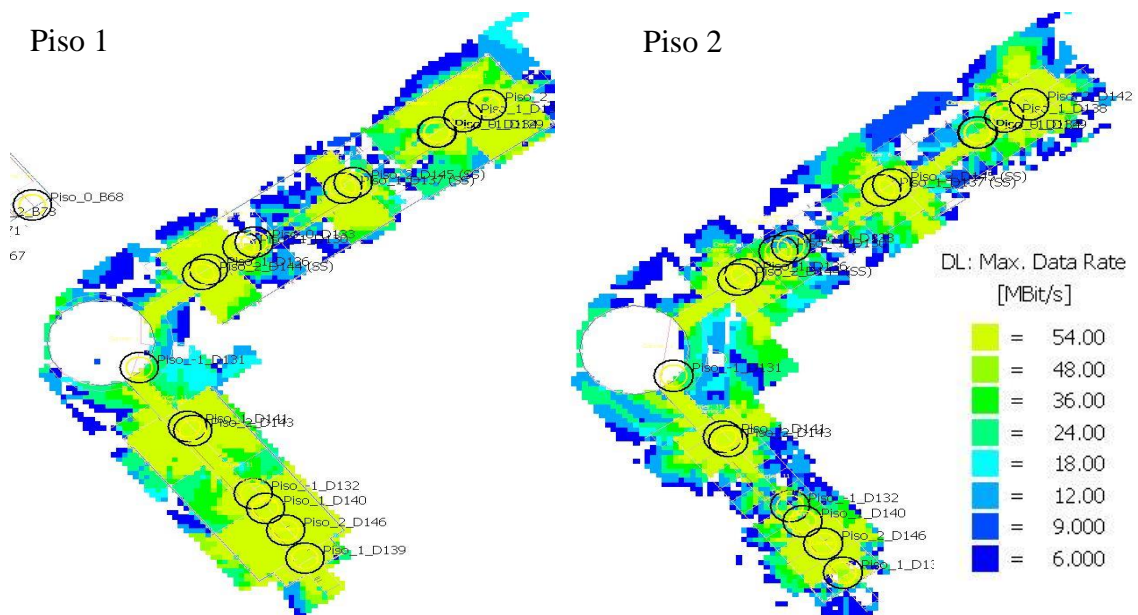


Figura G.20 - Máximo débito binário do piso 1 e piso 2 edifício D

Probabilidade de Recepção para 24 MBit/s

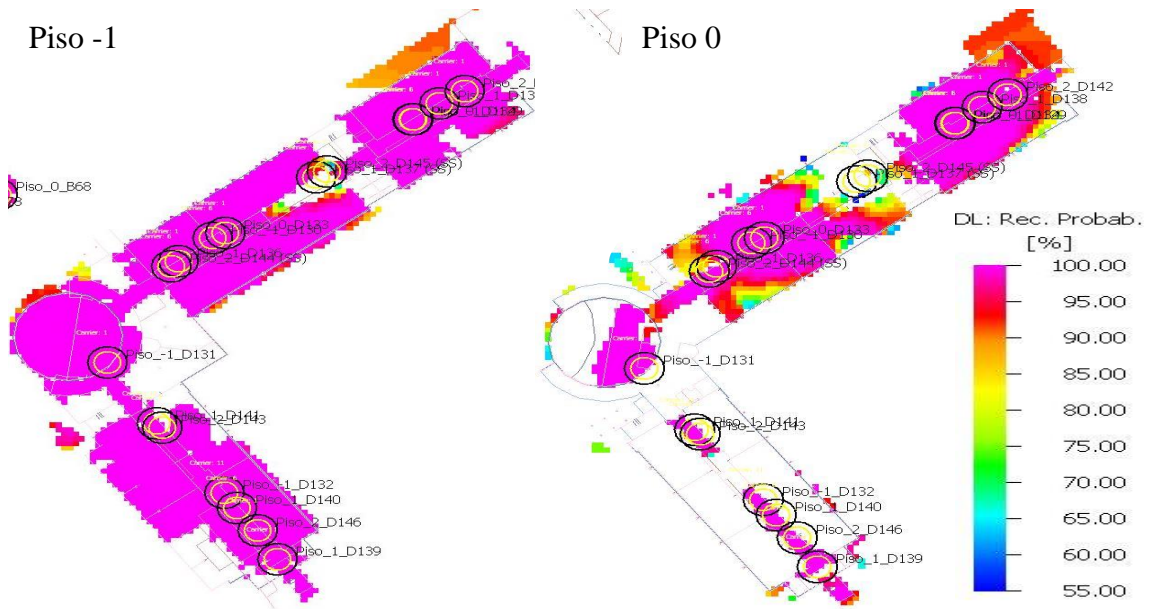


Figura G.21 - Probabilidade de recepção para 24 Mbit/s do piso -1 e piso 0 edifício D

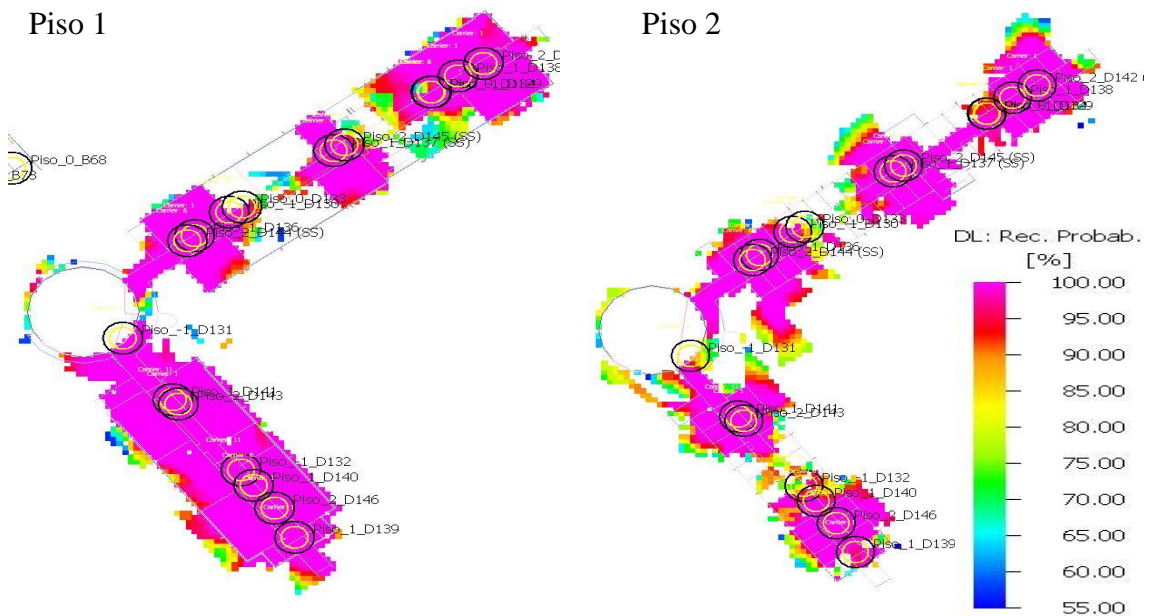


Figura G.22 - Probabilidade de recepção para 24 Mbit/s do piso 1 e piso 2 edifício D

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

H. Simulações do exterior do Campus

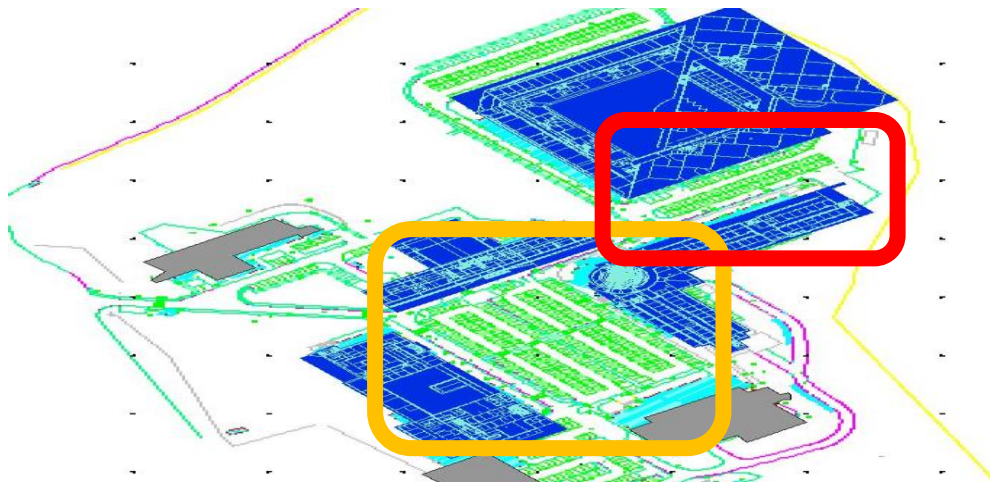


Figura H.1 - Indicação das 2 áreas exteriores em análise

Máximo sinal recebido e nível do SNIR na área exterior norte

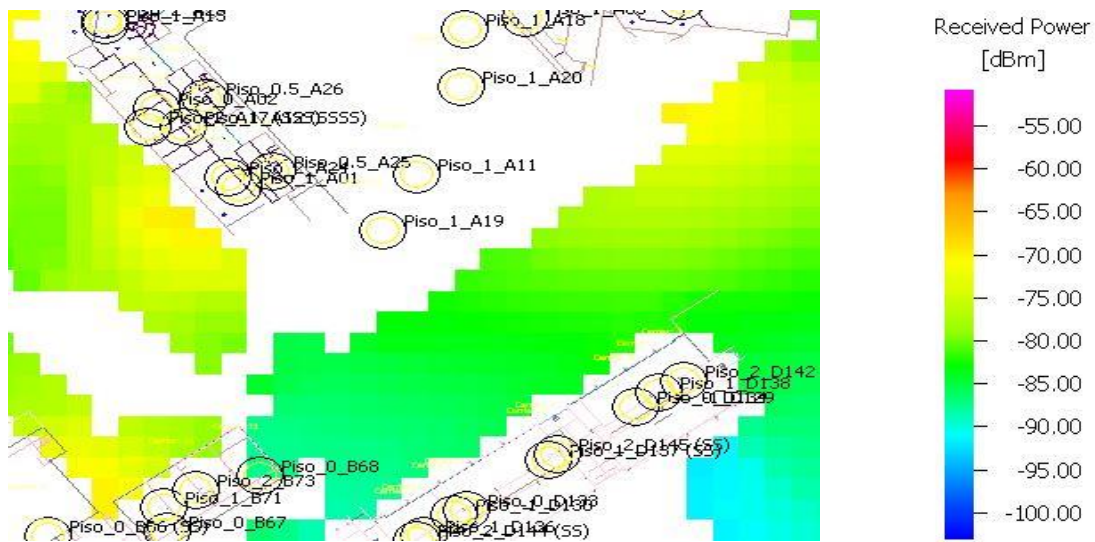


Figura H.2 - Máximo sinal recebido na área exterior norte do Campus

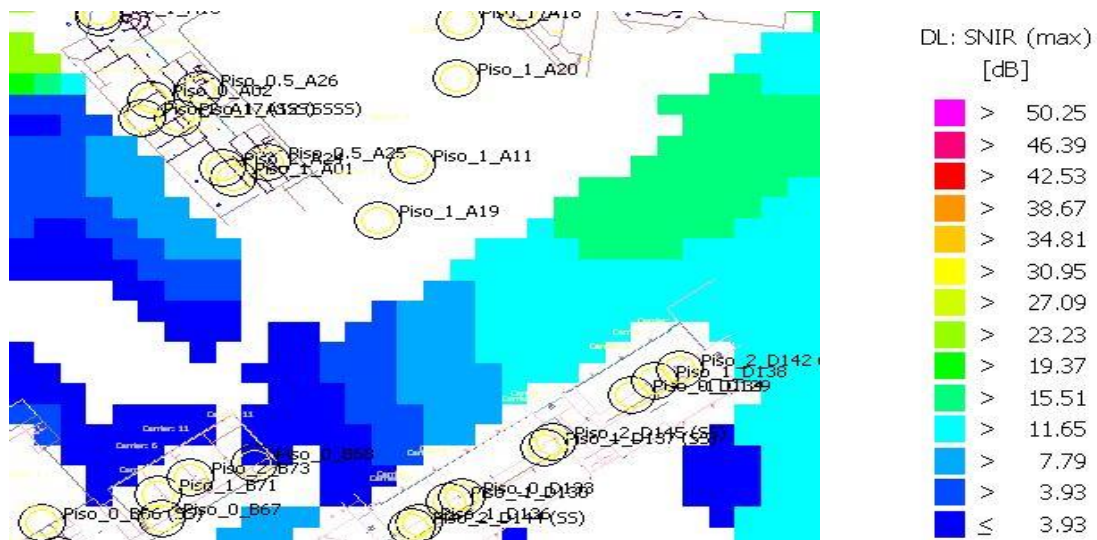


Figura H.3 - Máximo SNIR na área exterior norte do Campus

Número de portadoras recebidas e portadora dominante na área exterior norte

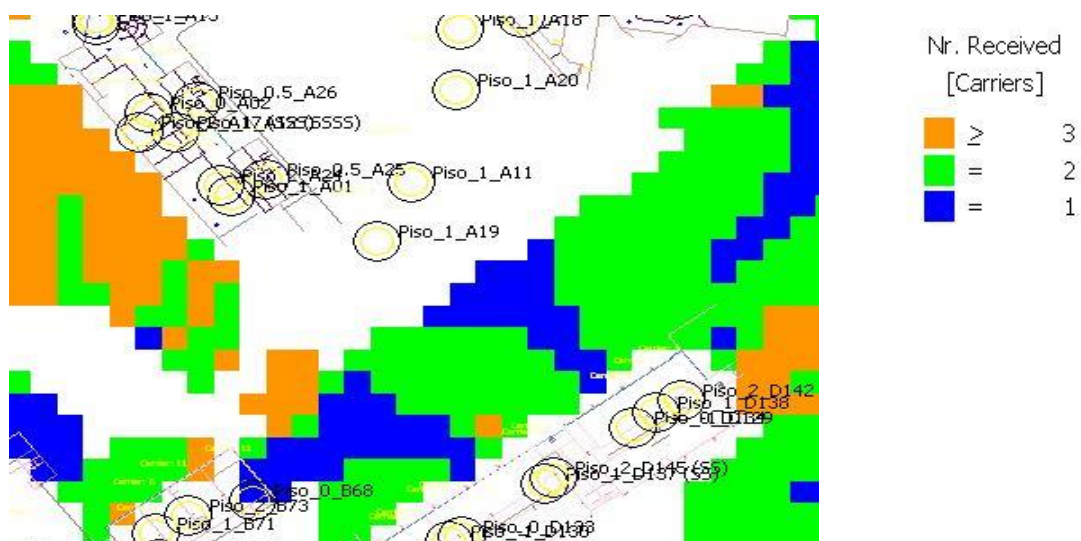


Figura H.4 - Número de portadoras recebidas na área exterior norte do Campus

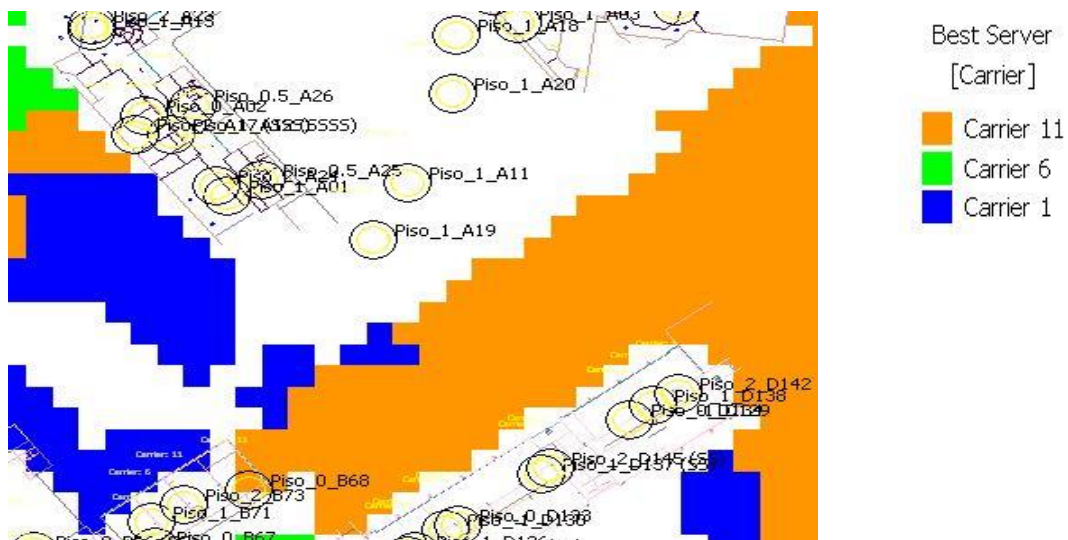


Figura H.5 - Portadora dominante na área exterior norte do *Campus*

Probabilidade de recepção para 24 Mbit/s na área exterior norte

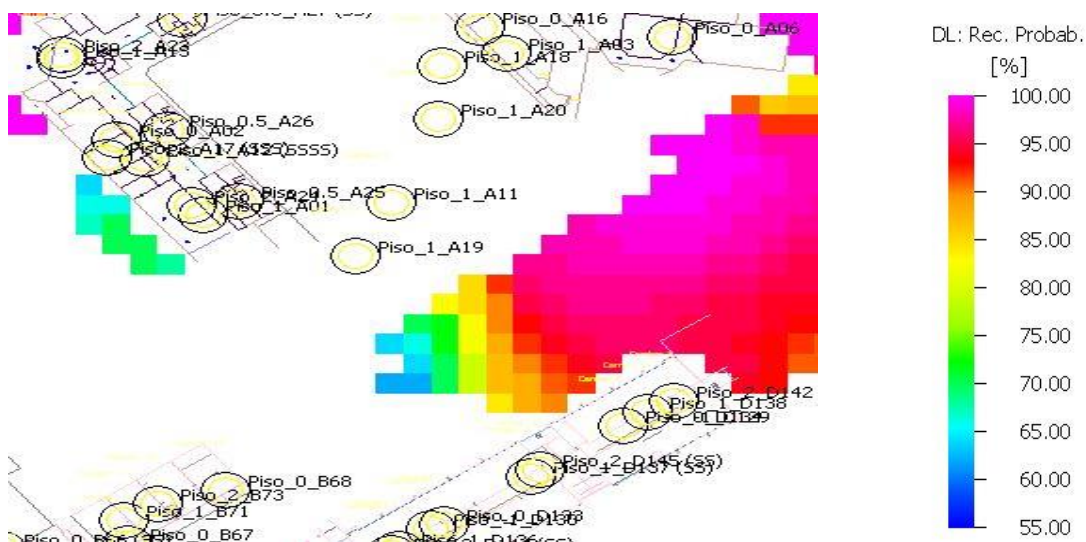


Figura H.6 - Probabilidade de recepção para 24Mbit/s na área exterior norte

Máximo sinal recebido e nível do SNIR na área exterior sul

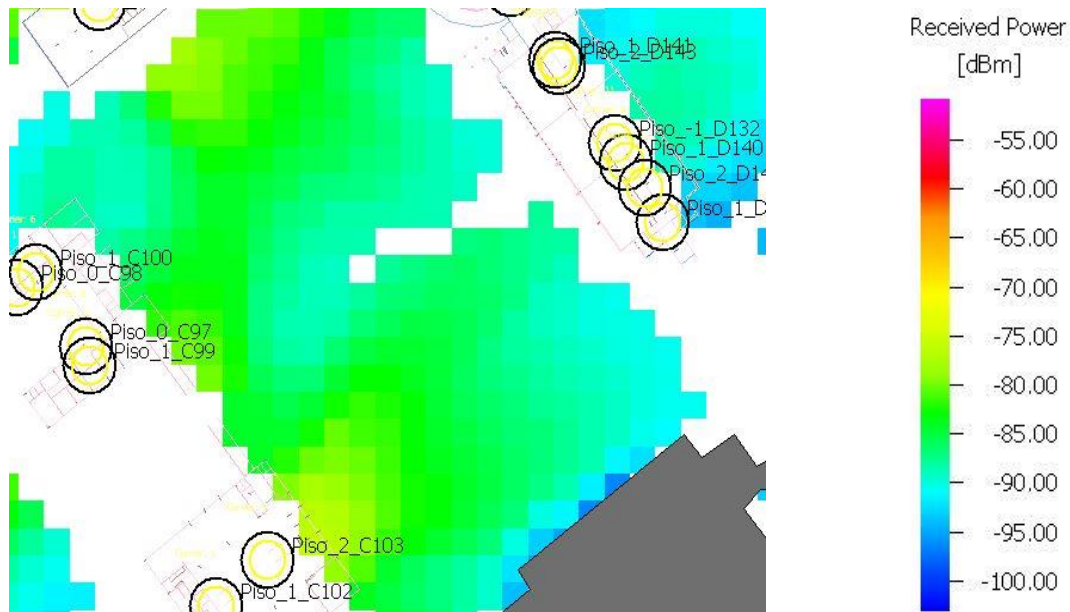


Figura H.7 - Máximo sinal recebido na área exterior sul do Campus

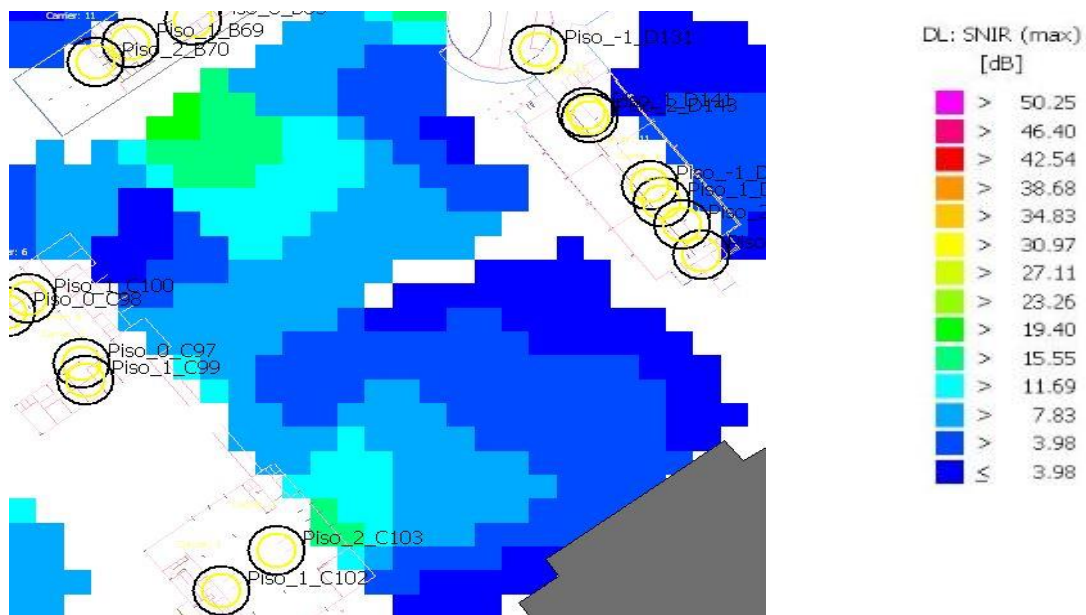


Figura H.8 - Máximo SNIR na área exterior sul do Campus

Número de portadoras recebidas e portadora dominante na área exterior sul

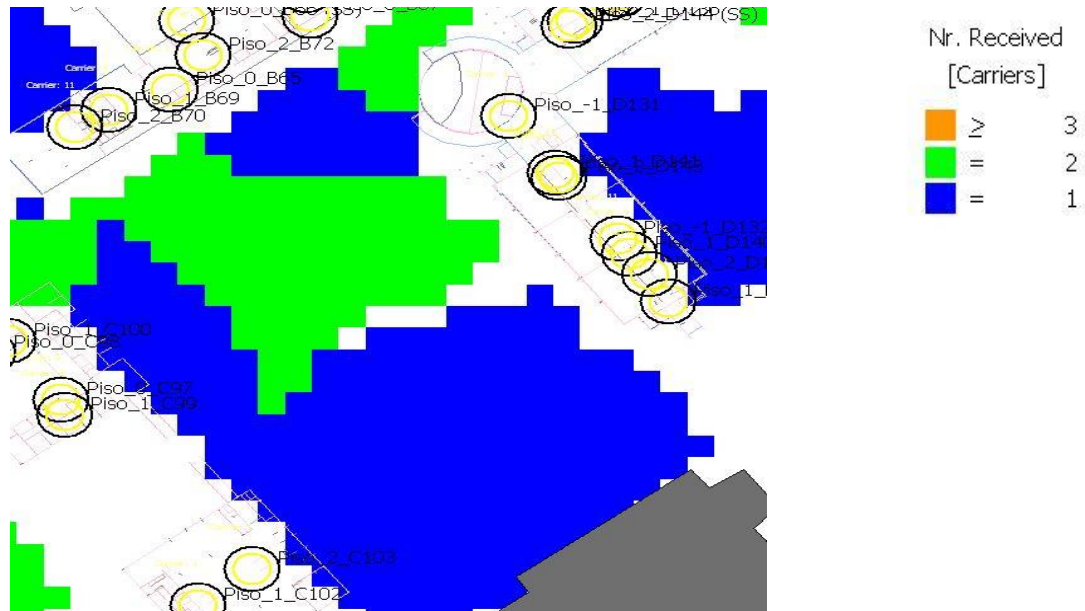


Figura H.9 - Número de portadoras recebidas na área exterior sul do *Campus*

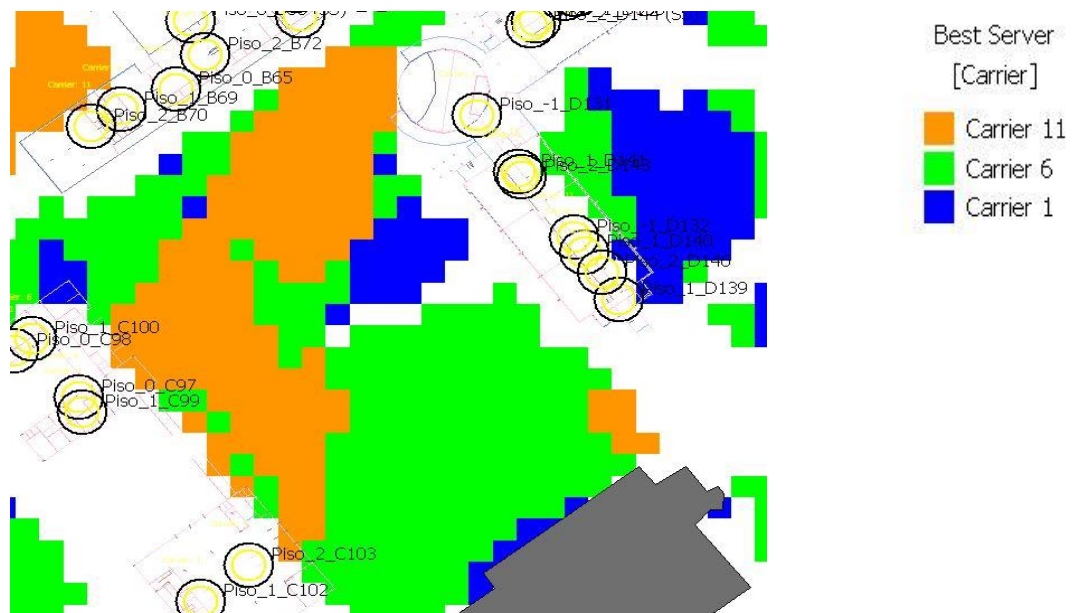


Figura H.10 - Portadora dominante na área exterior sul do *Campus*

Probabilidade de recepção para 24 Mbit/s na área exterior sul

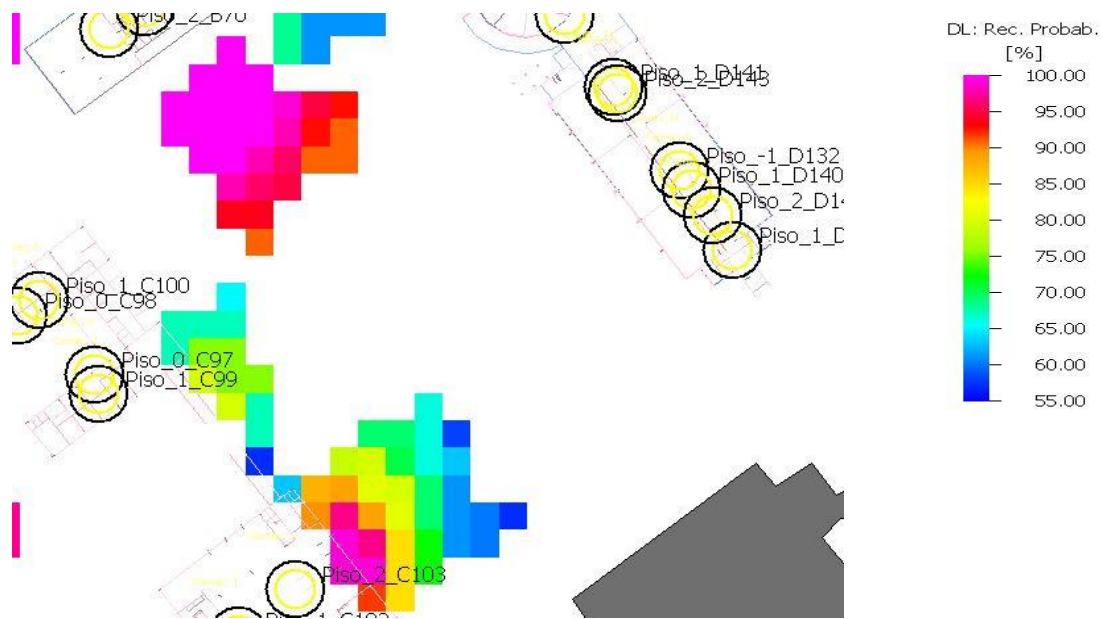


Figura H.11 - Probabilidade de recepção para 24Mbit/s na área exterior sul

I. Aferição dos resultados

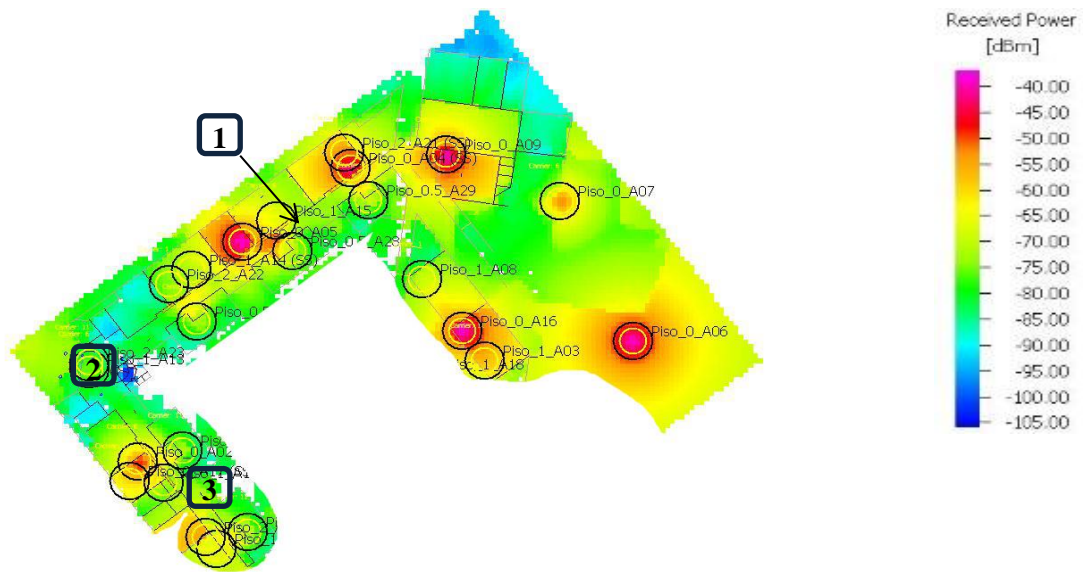


Figura I.1 - Pontos de medição no piso 0 do edifício A

Ponto localização	1	2	3
Simulado [dBm]	-70	-74	-75
Medição			
Valor Medido [dBm]	-68	-72	-78

Tabela I.1 - Medições para os pontos 1, 2 e 3

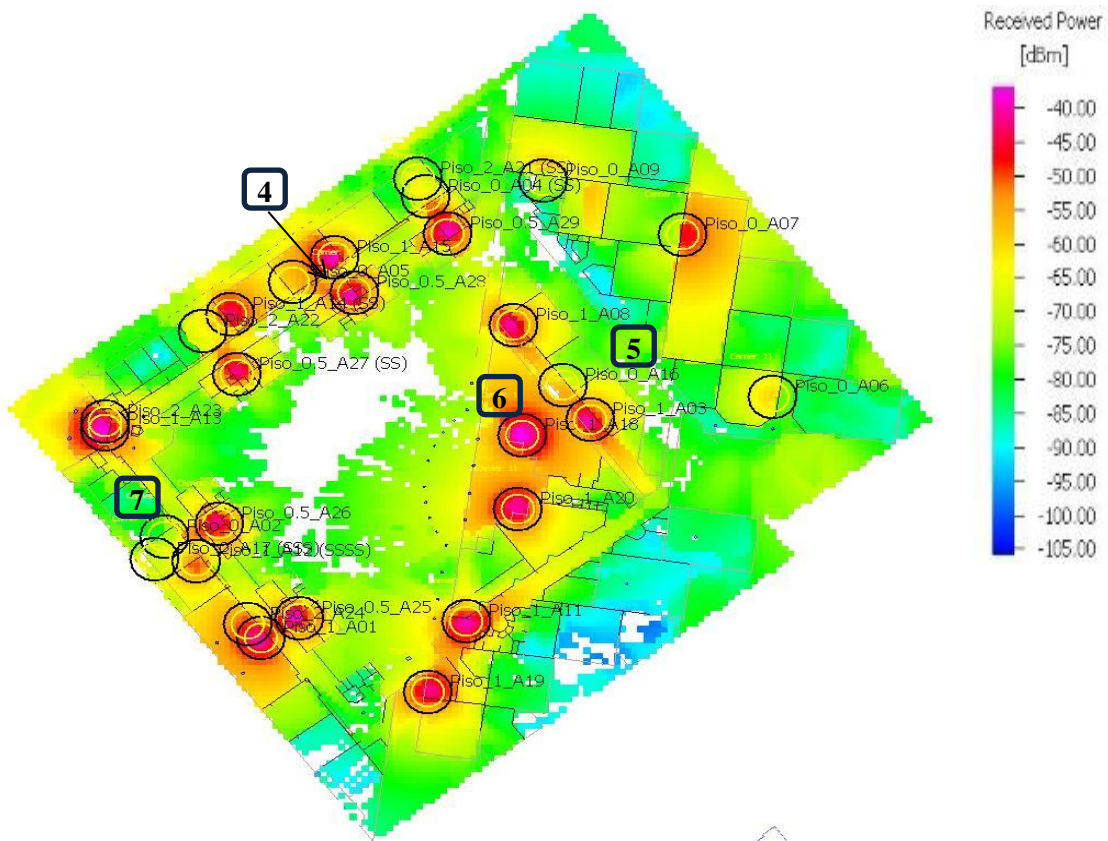


Figura I.2 - Pontos de medição no piso 1 do edifício A

Ponto de localização	4	5
Simulado [dBm]	-60 dB	-75 dB
Medição		
Valor Medido [dBm]	-61 dB/	-77 dB

Tabela I.2 - Medições para os pontos 4 e 5

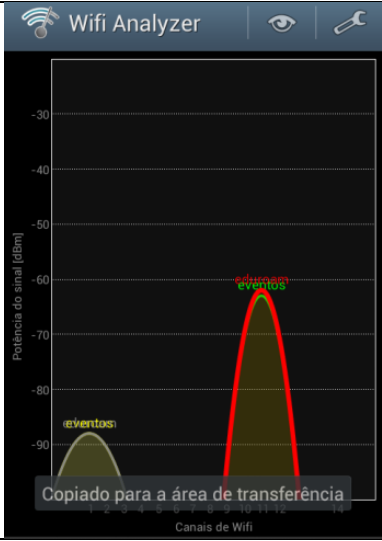
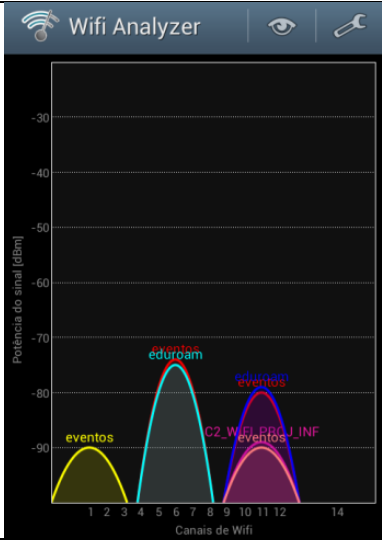
Ponto de localização	6	7
Simulado [dBm]	-60 dB	-75 dB
Medição		
Valor Medido [dBm]	-62 dB	-75 dB

Tabela I.3 - Medições para os pontos 6 e 7

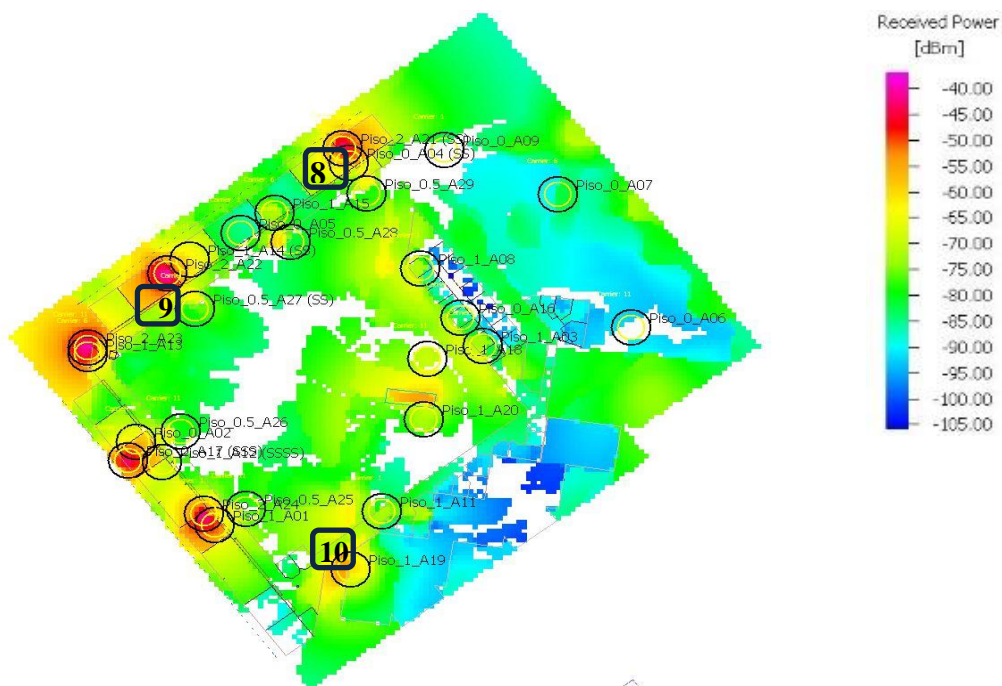


Figura I.3 - Pontos de medição no piso 2 do edifício A

Ponto de localização	8	9	10
Simulado [dBm]	-68	-70	-78
Medição			
Valor Medido [dBm]	-71	-75	-88

Tabela I.4 - Medições para os pontos 8, 9 e 10

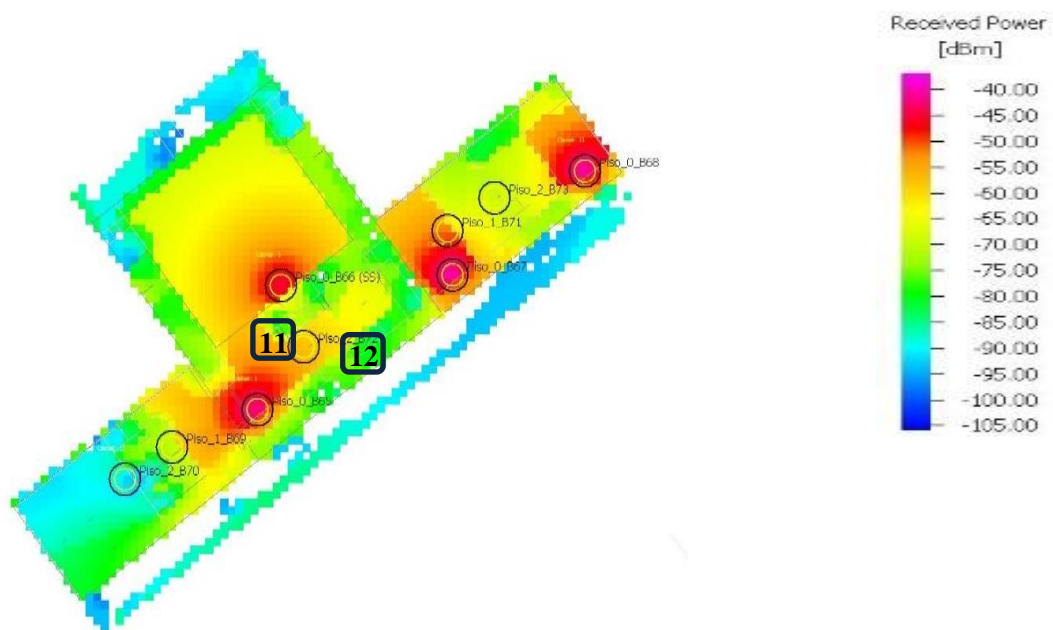


Figura I.4 - Pontos de medição no piso 0 do edifício B

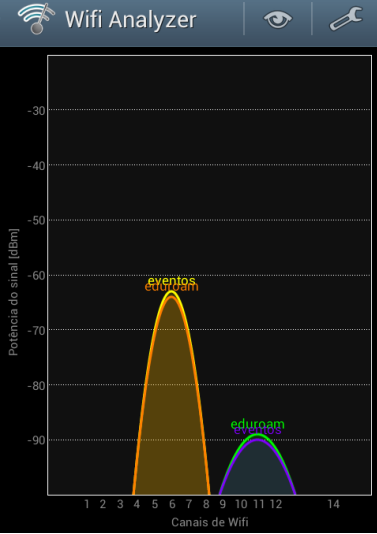
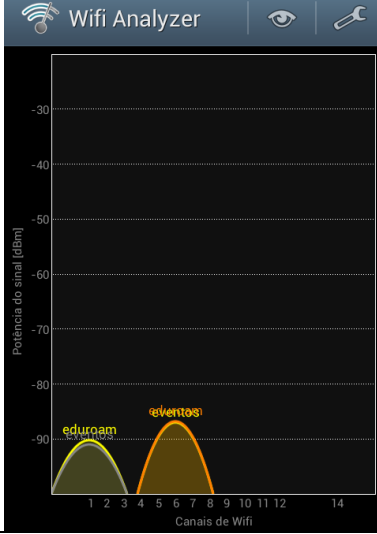
Ponto de localização	11	12
Simulado [dBm]	-62	-82
Medição		
Valor Medido [dBm]	-62	-86

Tabela I.5 - Medições para os pontos 11 e 12

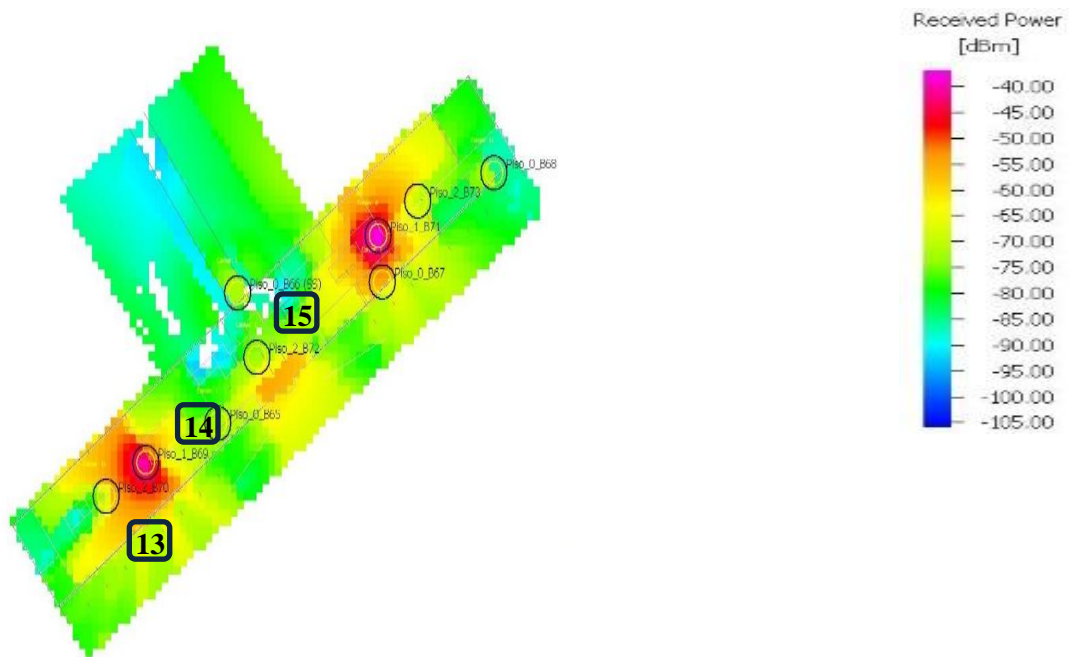


Figura I.5 - Pontos de medição no piso 1 do edifício B

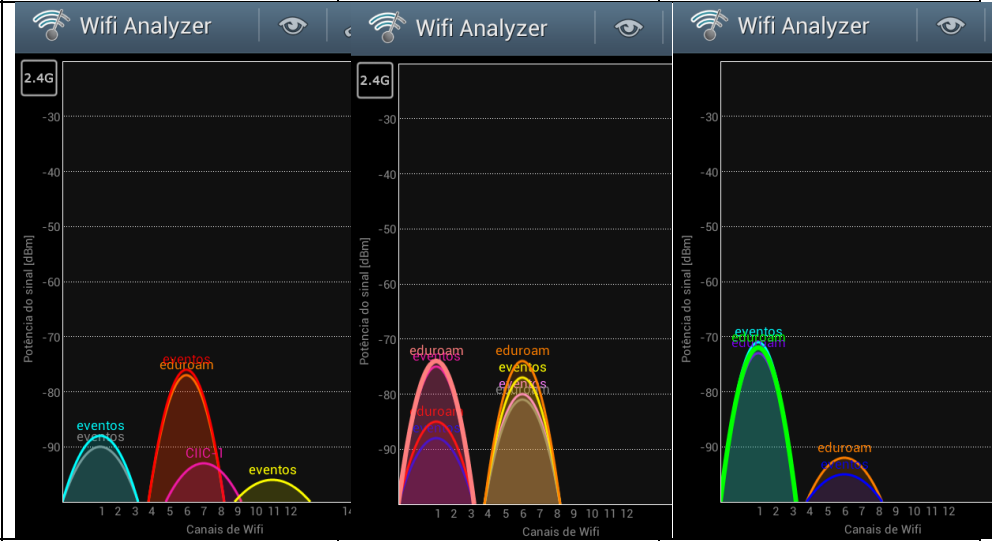
Ponto de localização	13	14	15
Simulado [dBm]	-74	-73	-75
Medição			
Valor [dBm]	Medido -77	-73	-72

Tabela I.6 - Medições para os pontos 13, 14 e 15

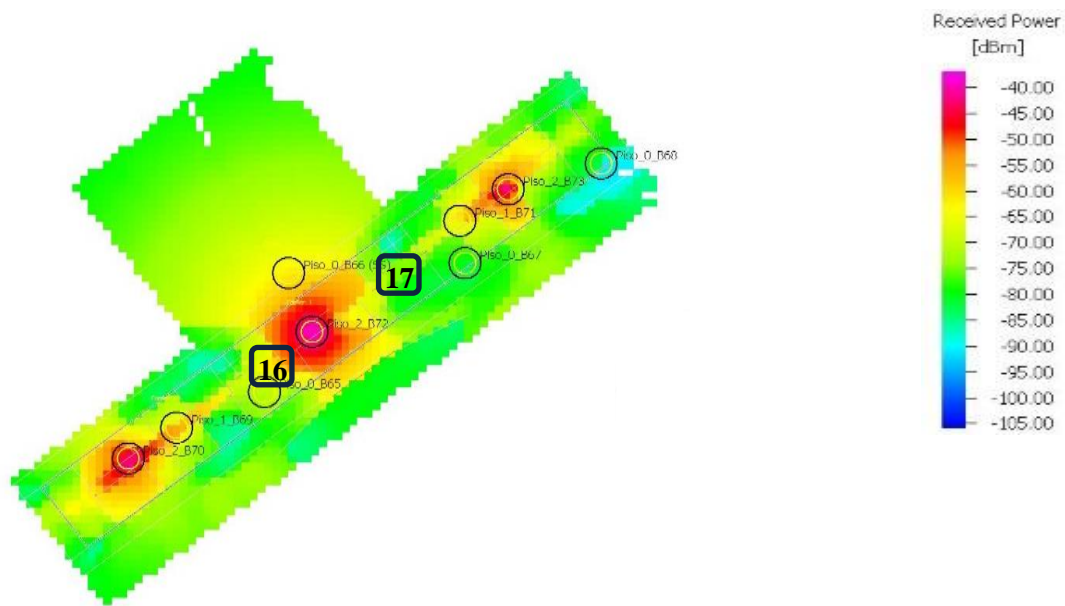


Figura I.6 - Pontos de medição no piso 2 do edifício B

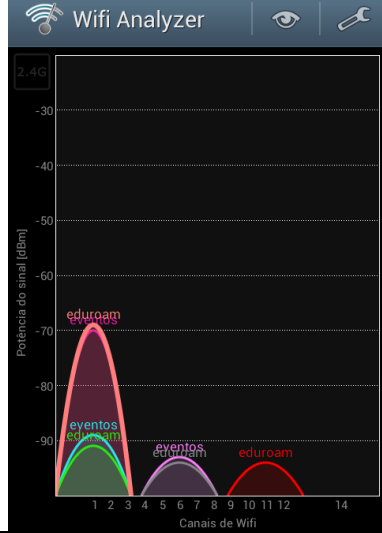
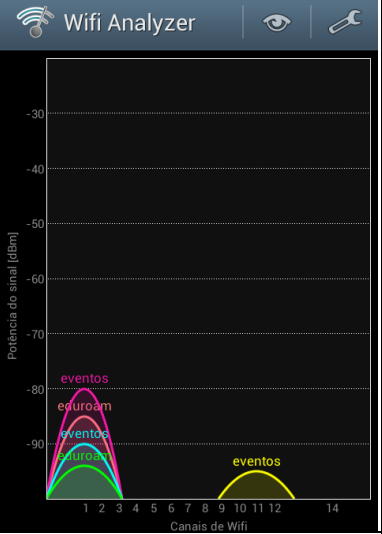
Ponto de localização	16	17
Simulado [dBm]	-67	-80
Medição		
Valor Medido [dBm]	-69	-80

Tabela I.7 - Medições para os pontos 16 e 17

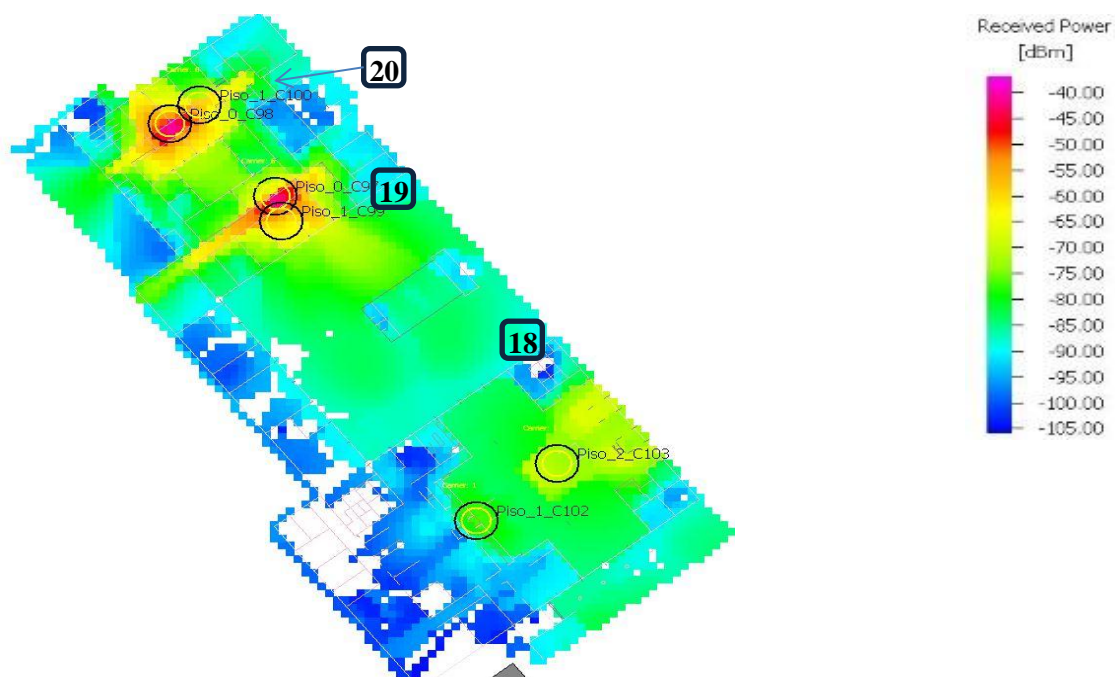


Figura I.7 - Pontos de medição no piso 0 do edifício C

Ponto de localização	18	19	20
Simulado [dBm]	-90	-90	-83
Medição			
Valor Medido [dBm]	-89	-90	-80

Tabela I.8 - Medições para os pontos 18, 19 e 20

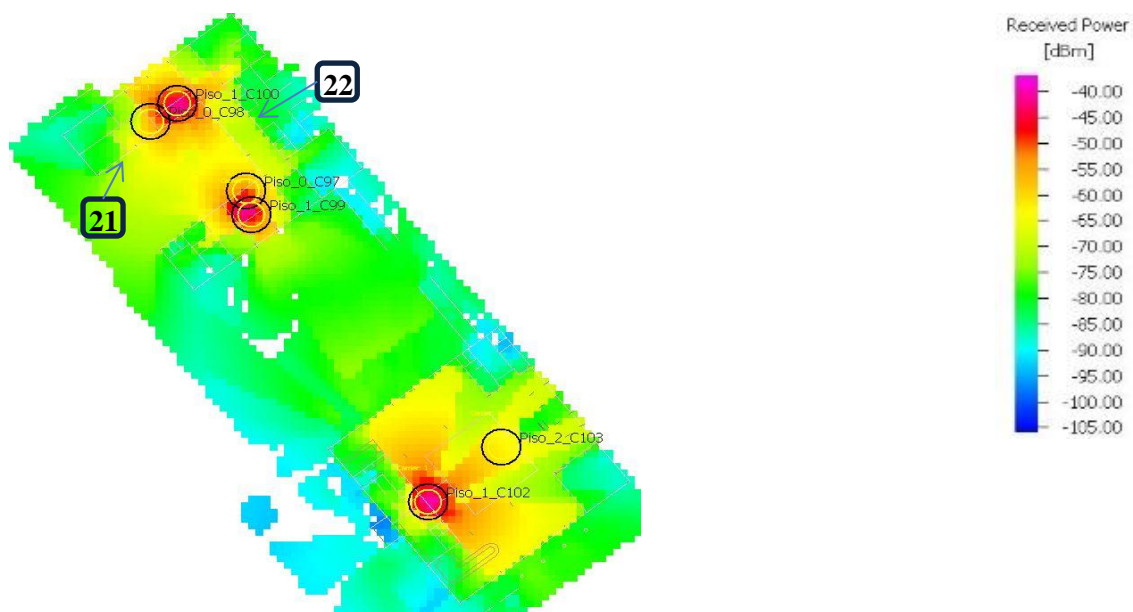


Figura I.8 - Pontos de medição no piso 1 do edifício C

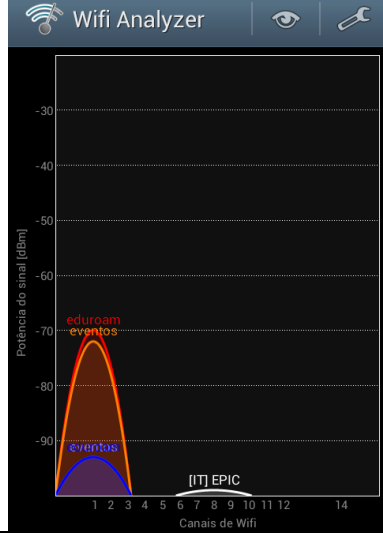
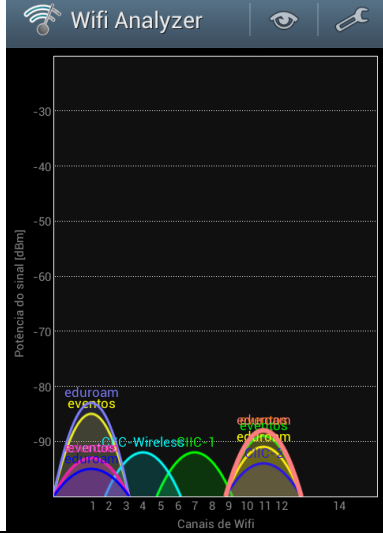
Ponto de localização	21	22
Simulado [dBm]	-70	-80
Medição		
Valor Medido [dBm]	-70	-83

Tabela I.9 - Medições para os pontos 21 e 22

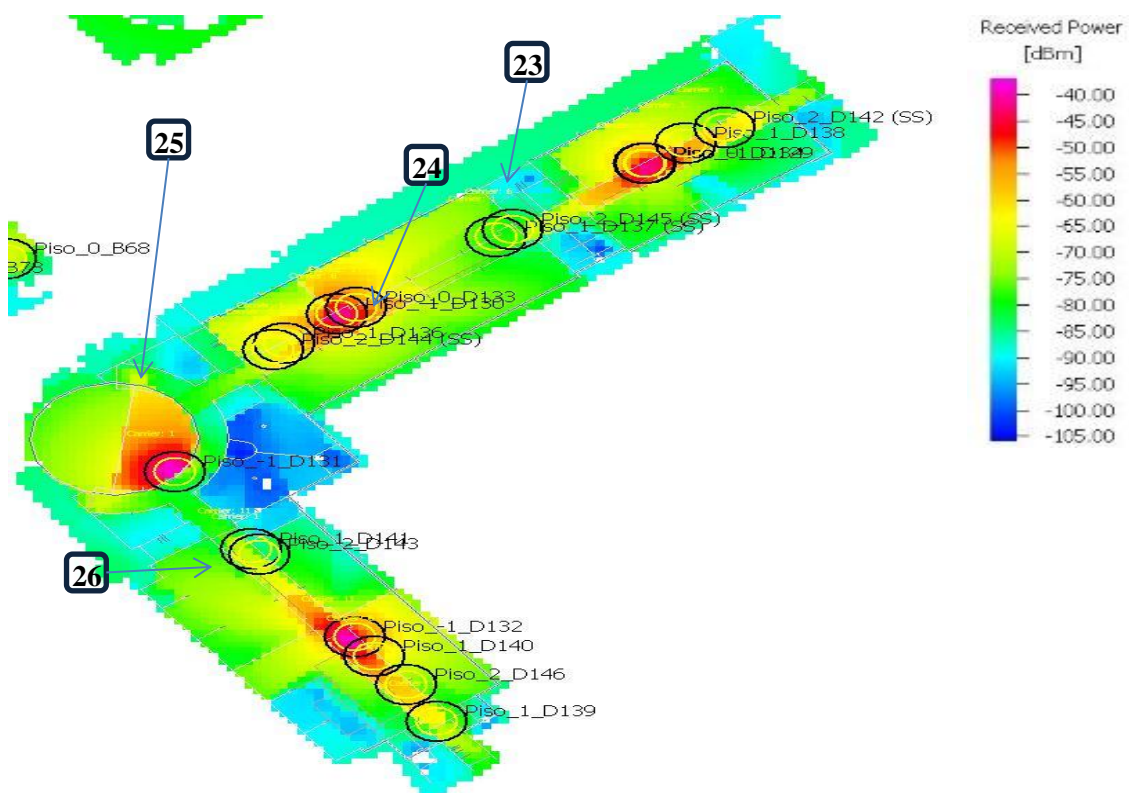


Figura I.9 - Pontos de medição no piso -1 do edifício D

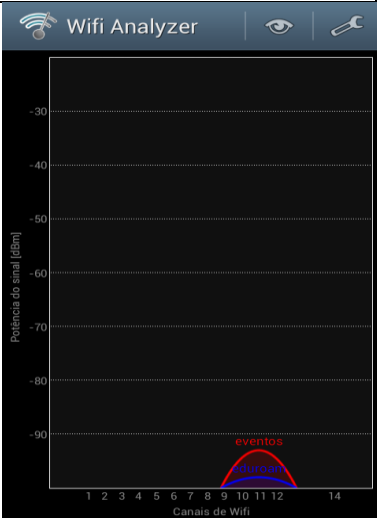
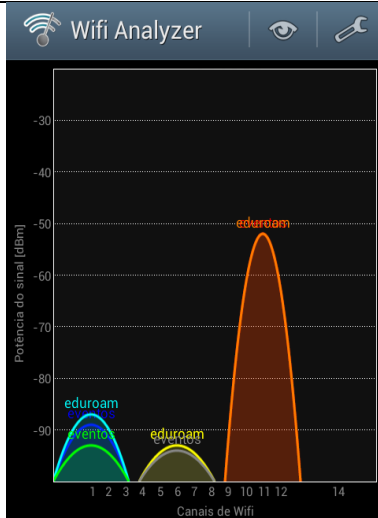
Ponto de localização	23	24
Simulado [dBm]	-91	-51
Medição		
Valor Medido [dBm]	-92	-51

Tabela I.10 - Medições para os pontos 23 e 24

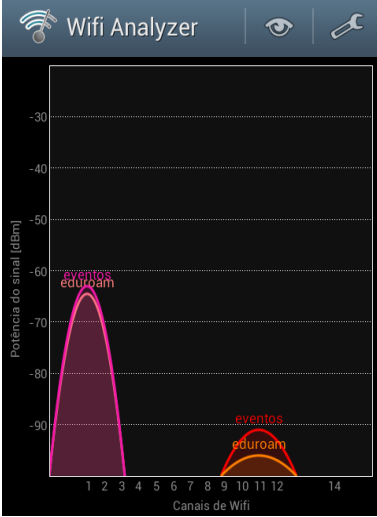
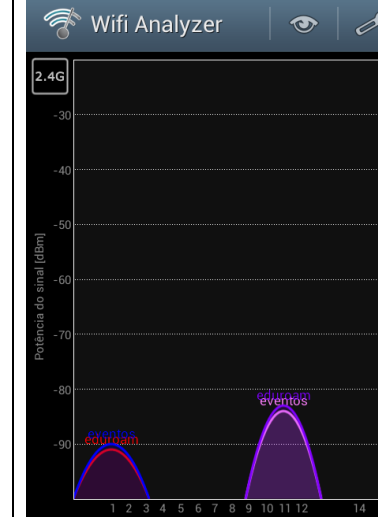
Ponto de localização	25	26
Simulado [dBm]	-63	-76
Medição		
Valor Medido [dBm]	-63	-82

Tabela I.11 - Medições para os pontos 25 e 26

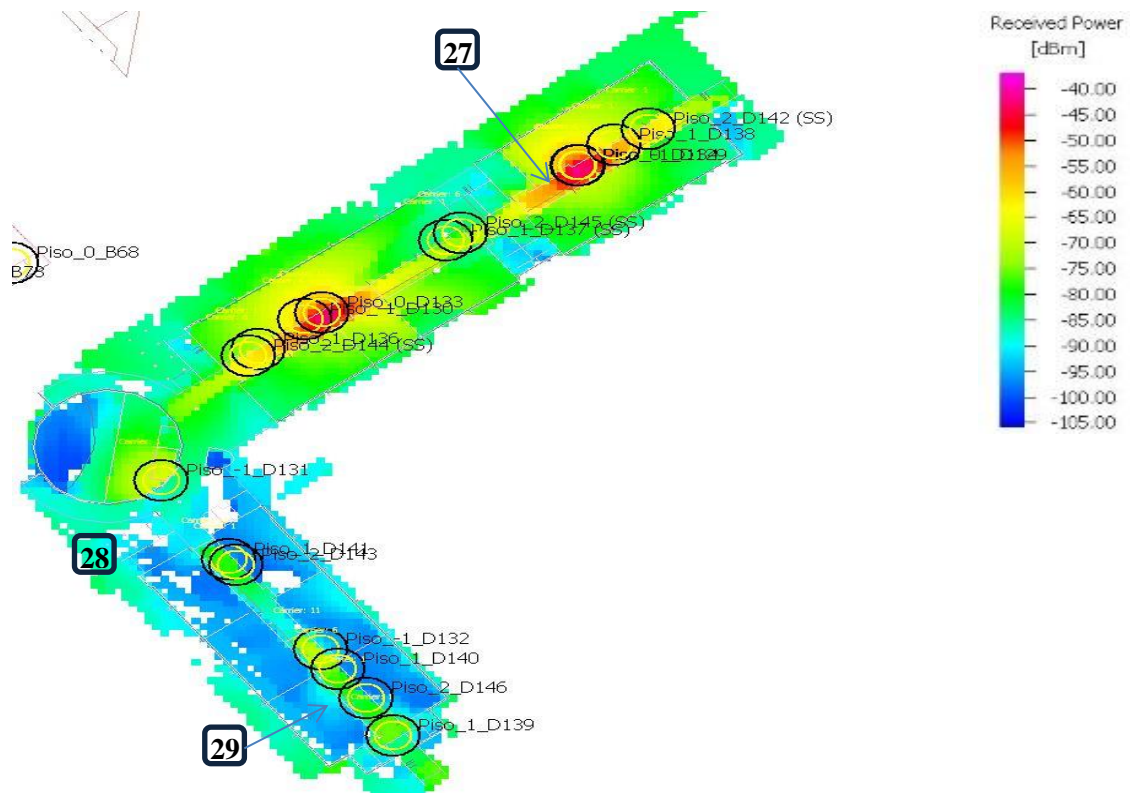


Figura I.10 - Pontos de medição no piso 0 do edifício D

Ponto de localização	27	28	29
Simulado [dBm]	-55	-88	-90
Medição			
Valor [dBm]	Medido -54	-88	-88

Tabela I.12 - Medições para os pontos 27, 28 e 29

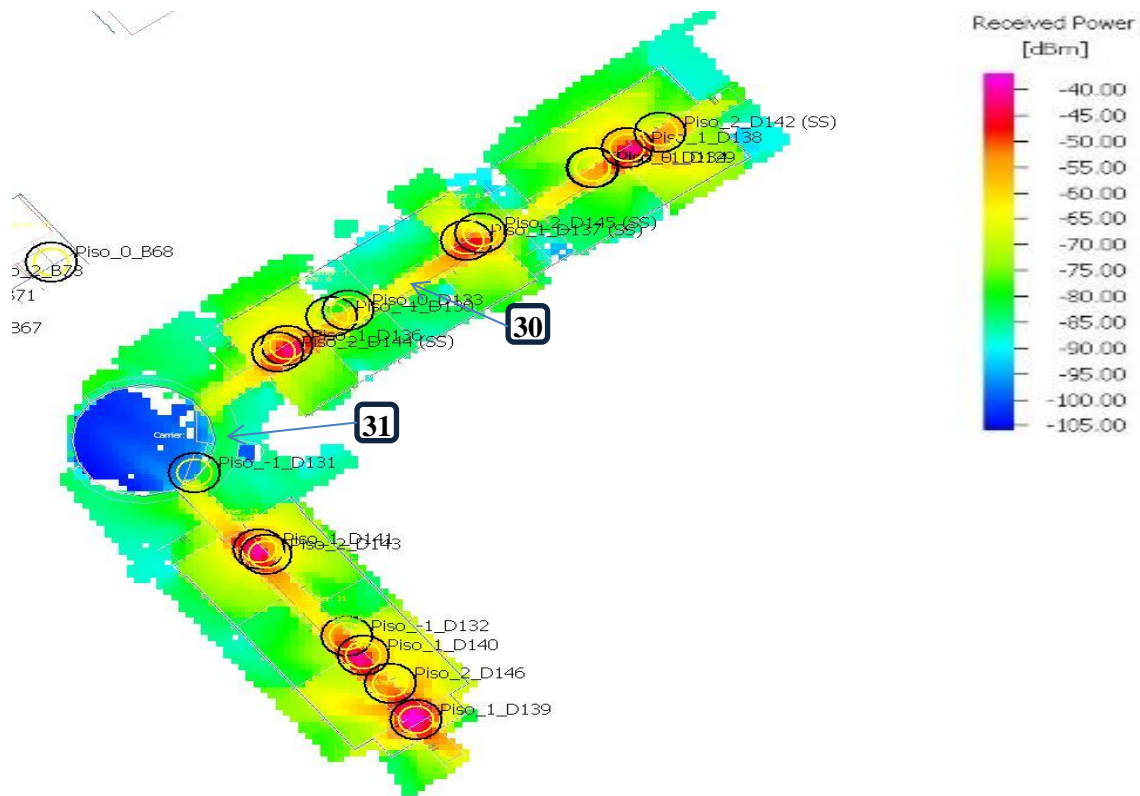


Figura I.11 - Pontos de medição no piso 1 do edifício D

Ponto de localização	30	31
Simulado [dBm]	-65	-82
Medição		
Valor Medido [dBm]	-71	-82

Tabela I.13 - Medições para os pontos 30 e 31

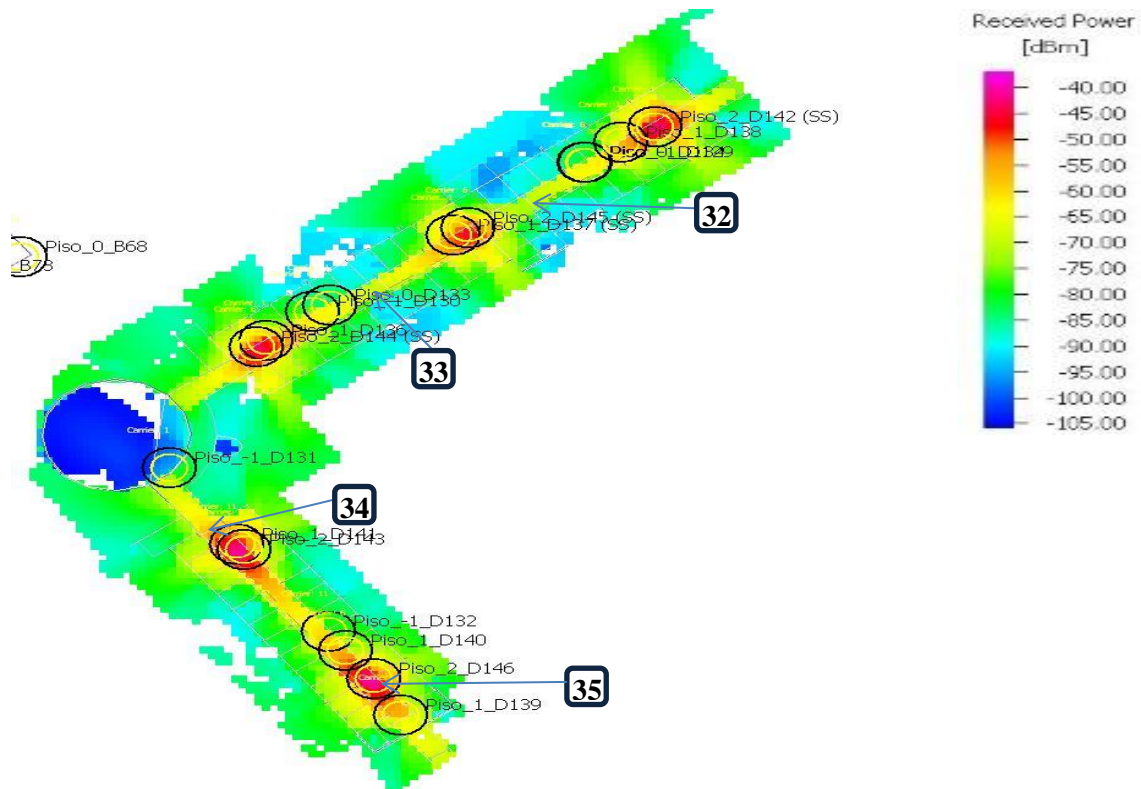


Figura I.12 - Pontos de medição no piso 2 do edifício D

Ponto de localização	32	33
Simulado [dBm]	-67	-68
Medição		
Valor Medido [dBm]	-66	-75

Tabela I.14 - Medições para os pontos 32 e 33

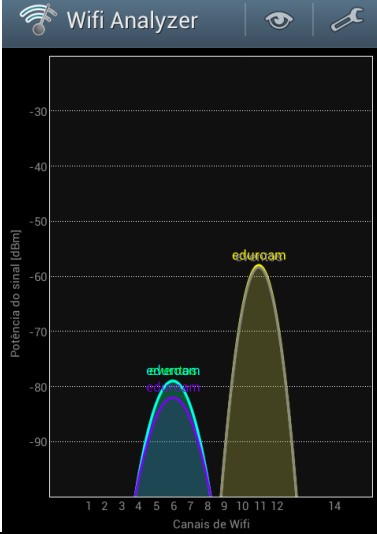
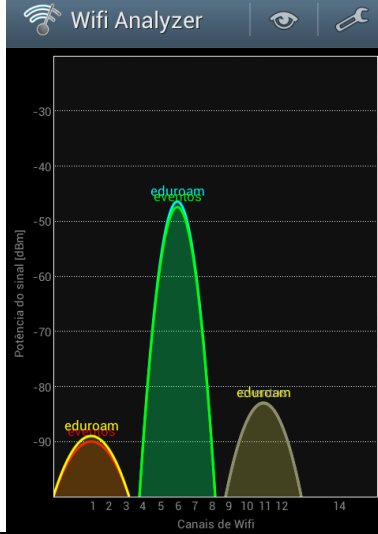
Ponto de localização	34	35
Simulado [dBm]	-58	-45
Medição		
Valor Medido [dBm]	-58	-46

Tabela I.15 - Medições para os pontos 34 e 35