

7. Estudo de caso

Como estudo de caso foi realizado o projeto de cobertura do Centro de Estudos em Telecomunicações da PUC-Rio. Este projeto piloto está em fase final de implantação no âmbito de um projeto mais amplo que disponibilizará acesso sem fio em diversos espaços da universidade.

7.1. Necessidades dos usuários

Como estudo de caso foi realizado o projeto de cobertura do Centro de Estudos em Telecomunicações da PUC-Rio (CETUC). A unidade conta com cerca de 25 professores, 20 funcionários técnico administrativos, 120 alunos de pós-graduação e 60 alunos de iniciação científica e estagiários. Este pessoal tem a seu dispor 120 estações de trabalho já ligadas em rede. Estima-se, com base nos registros da administração da rede que, em horas de máximo movimento a utilização simultânea chegue a 80 estações de trabalho. Com o crescente uso de *palmtops* e *pocket pcs* com interfaces *wireless*, estimou-se um uso conjunto futuro de 100 acessos simultâneos no pico, aos quais, se deseja oferecer uma taxa média de 250 kbps por usuário.

Como existe atualmente uma rede cabeada atendendo todas as estações existentes, preveu-se a evolução para a rede *wireless* em fases associadas à aquisição de novos equipamentos que irão substituindo progressivamente os atuais:

Fase 1:

- 25 acessos *wireless* simultâneos, *throughput* total real de 6,4 Mbps → *throughput* total de 9,0 Mbps

Fase 2:

- 50 acessos *wireless* simultâneos, *throughput* total real de 12,5 Mbps → *throughput* total de 17,5 Mbps

Fase 3:

- 100 acessos *wireless* simultâneos, *throughput* total real de 25,0 Mbps → *throughput* total de 35 Mbps

onde foi acrescentado um *overhead* de 40% (conforme comentado anteriormente) referente a sinalização sobre o *throughput* real (requerido pelos usuários) da rede.

7.2. Redes existentes

O ambiente possui tetos rebaixados em toda a sua extensão, utilizando cobertura em material plástico semi-rígido de perda de transmissão muito baixa, sobre a qual correm rede elétrica e cabeamento Ethernet. Isto facilita extremamente a instalação dos APs. Decidiu-se instalá-los sobre o teto, tanto por questões de segurança como estéticas, ficando aberta a possibilidade da instalação de antenas painel de parede abaixo do teto para prover a cobertura desejada.

7.3. Planejamento de cobertura

Para o planejamento de cobertura foi utilizado o modelo desenvolvido no Capítulo 5 com base em medidas realizadas no próprio local, o que representa a situação ideal. Os seguintes parâmetros foram utilizados:

- EIRP: 20 dBm
- Limiar: -84 dBm
- Coeficiente de propagação (n): 2,3
- Perda de propagação a 1 metro da antena (L_0): 45 dB
- Perda de penetração nas paredes de gesso fino: 6 dB (valor médio referente a este obstáculo na Tabela 12)
- Perda de penetração nas divisórias de madeira e portas: 3 dB (valor médio referente a este obstáculo na Tabela 12)

Os valores de EIRP e Limiar utilizados são os valores reais do equipamento, utilizados nas medições.

Assim, o modelo de previsão utilizado é dado por:

$$L_{total} = 45 + 23 \cdot \log(d) + 6 \cdot \sum_{J_1=1}^{J_1} k_{w,i_1} + 3 \cdot \sum_{J_2=1}^{J_2} k_{w,i_2} + 3 \cdot \sum_{J_3=1}^{J_3} k_{w,i_3} \quad (7.1)$$

$$P_R = 20 - L_{total}, \text{ onde } P_R \geq -84 \text{ dBm} \quad (7.2)$$

Os testes realizados com este modelo e o *software* de previsão mostraram a necessidade da utilização de dois APs para prover cobertura sobre toda a área desejada. A Figura 40 e a Figura 41 apresentam, respectivamente, a predição de cobertura provida pelos AP1 e AP2 (a partir do modelo ajustado *single-slope* de ajuste parcial). O posicionamento dos APs estão indicados nas figuras.

Os pontos azuis marcados no mapa sobre a cobertura indicam o valor da predição de cobertura nos pontos indicados (que não são necessariamente os pontos medidos).

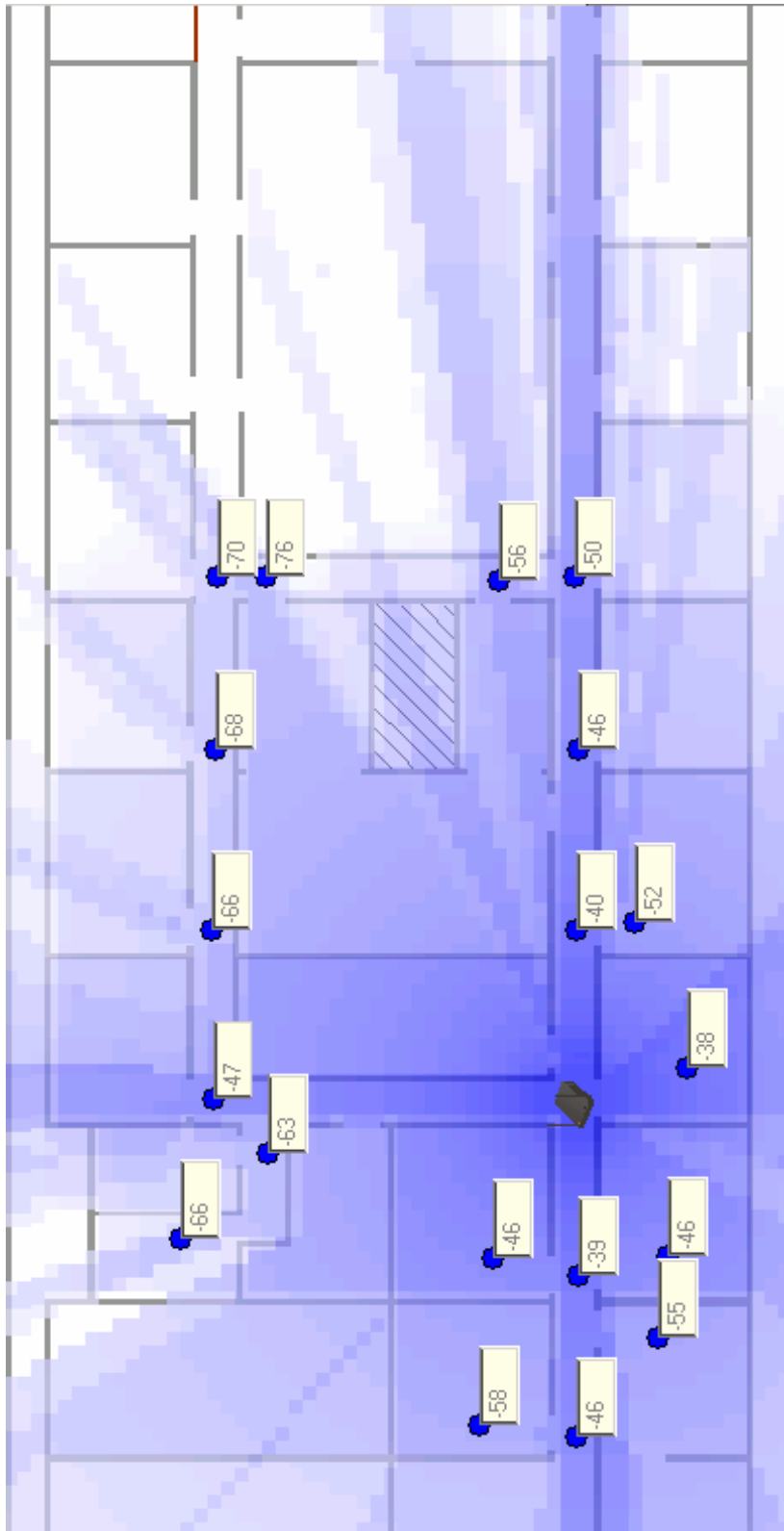


Figura 40 – Cobertura provida pelo AP1

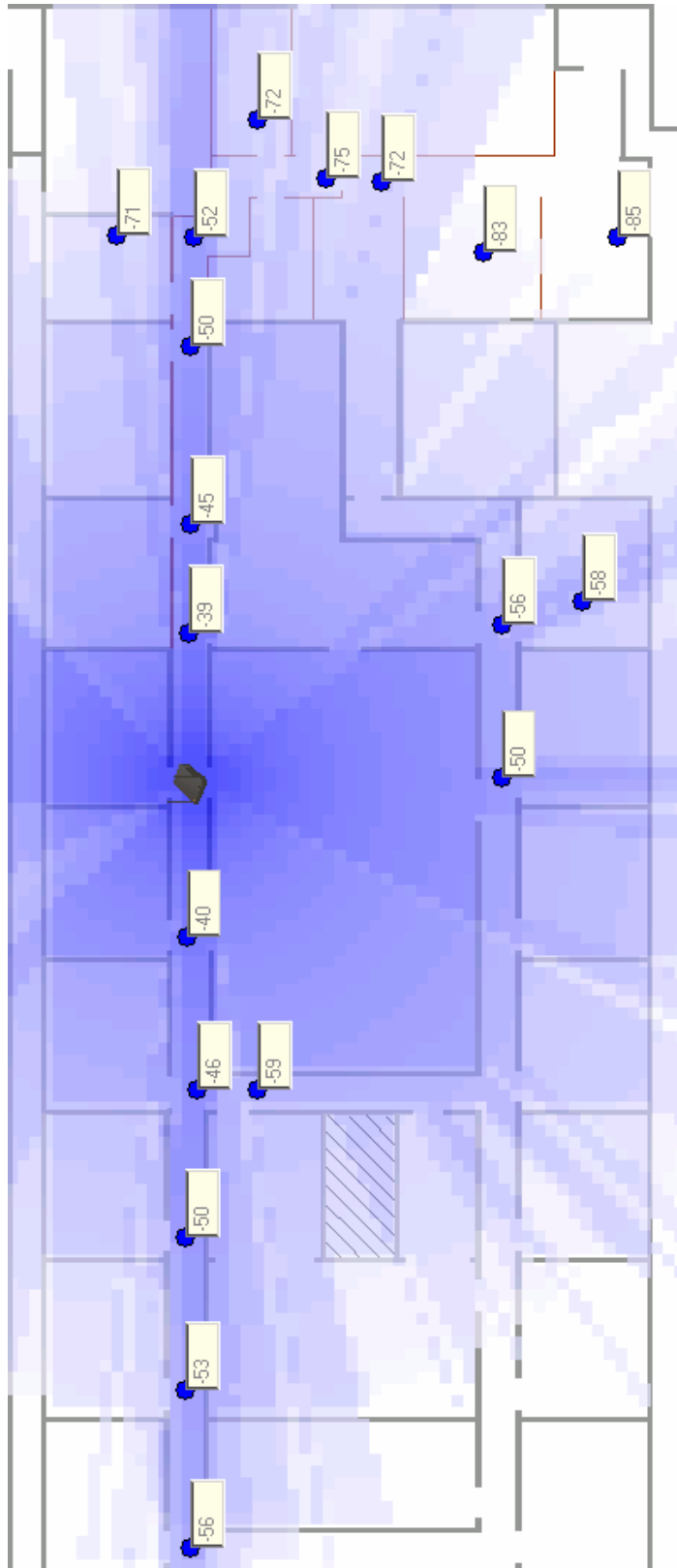


Figura 41 – Cobertura provida pelo AP2

Estabelecendo uma comparação qualitativa entre os valores medidos apresentados na Figura 31 e os valores calculados apresentados na Figura 40 e Figura 41, nota-se que as regiões cobertas reais e previstas a partir do modelo de propagação ajustado apresentam um comportamento muito próximos.

Para se estabelecer uma comparação quantitativa entre o modelo de previsão utilizado no *software* e as medidas, é apresentada a seguir (Figura 42) a identificação de todos os pontos medidos sobre o mapa do local, e uma tabela que apresenta esta comparação.

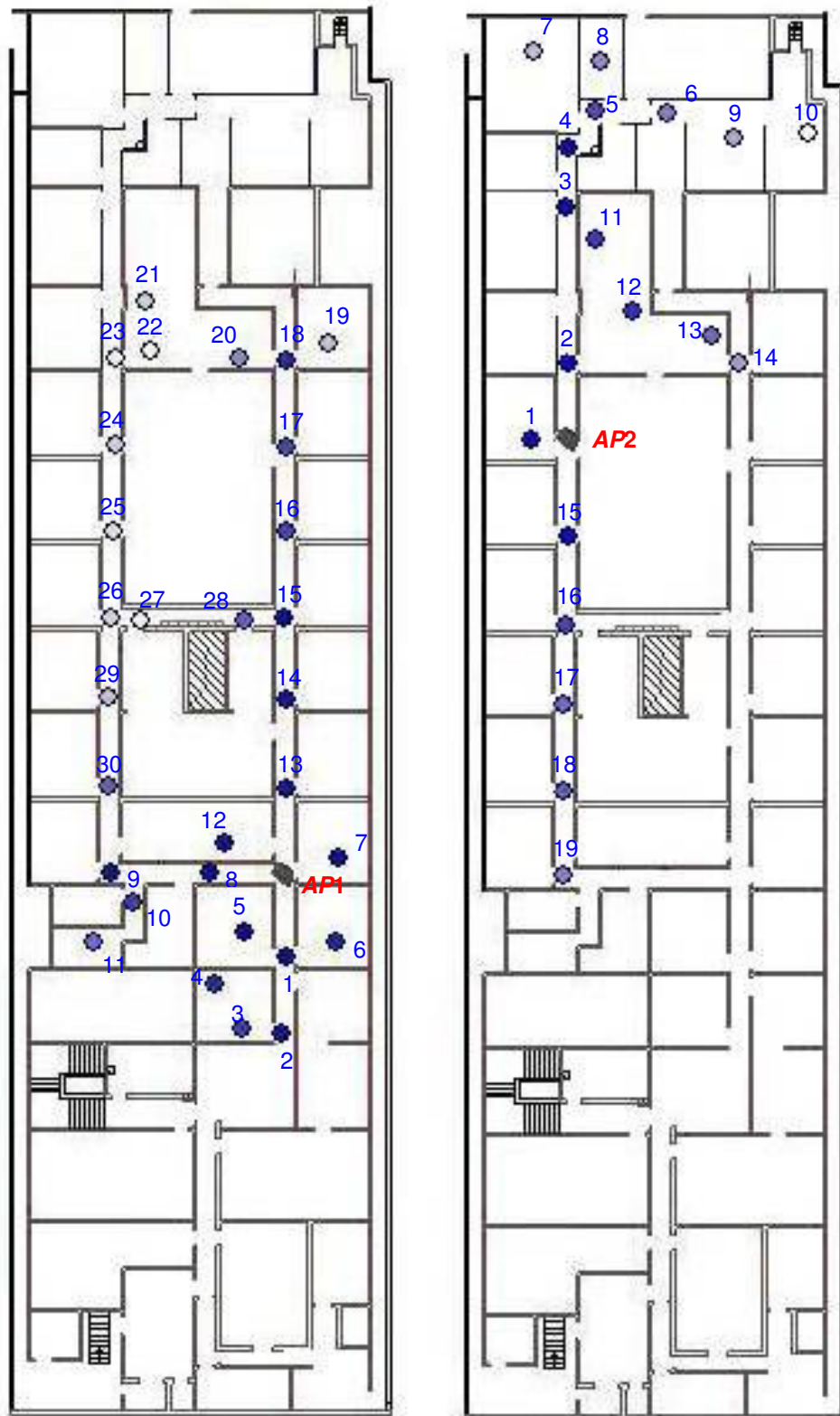


Figura 42 – Numeração dos pontos medidos no CETUC

Utilizando as medidas realizadas foi feita uma avaliação da precisão, não apenas do modelo selecionado para cálculo de cobertura neste projeto, mas também dos demais modelos descritos no capítulo 5. A partir dos valores medidos e dos previstos a partir destes modelos, foram calculados o erro absoluto e o erro relativo para cada ponto. O **erro absoluto foi calculado como a diferença entre o valor da potência prevista e o valor medido** no ponto. Desta forma, um erro positivo indica que o modelo sobrestima a atenuação medida e um erro negativo indica subestimação. O erro relativo é o percentual do erro absoluto em relação ao valor medido.

OBS: Para os pontos em que não foi possível medir a potência recebida com precisão, já que o receptor do medidor apresenta um valor máximo de -45 dBm, os valores do erro absoluto e relativo não foram computados nem contabilizados nos cálculos de erro médio e desvio padrão. Estes valores ainda assim são apresentados para possibilitar a comparação entre os valores das potências medidas e calculadas.

Os modelos incluídos na comparação apresentada a seguir são:

Mod 1 – Modelo *Single-slope* de ajuste parcial

Mod 2 – Modelo *Single-slope* de ajuste completo

Mod 3 – Modelo *Dual-slope* de ajuste completo com dados de *LoS*

Mod 4 – Modelo *Dual-slope* de ajuste completo com dados de *LoS* e *NLoS*

API										
ID do ponto	Dist. ao AP [m]	Potência Medida [dBm]	Potência Calculada [dBm]				Erro Absoluto [dB]			
			Mod 1	Mod 2	Mod 3	Mod 4	Mod 1	Mod 2	Mod 3	Mod 4
1	4,4	>-45	-40	-41	-50	-44	-	-	-	-
2	8,4	>-45	-46	-46	-52	-48	-	-	-	-
3	8,3	-53	-55	-55	-61	-57	-2	-2	-8	-4
4	6,9	-50	-56	-57	-63	-59	-6	-7	-13	-9
5	4,0	>-45	-45	-46	-55	-49	-	-	-	-
6	4,3	-49	-46	-47	-55	-50	3	2	-6	-1
7	2,9	>-45	-39	-40	-51	-44	-	-	-	-
8	6,8	>-45	-44	-45	-51	-47	-	-	-	-
9	9,0	>-45	-47	-47	-52	-48	-	-	-	-
10	8,0	-53	-58	-58	-64	-60	-5	-5	-11	-7
11	10,0	-60	-66	-66	-70	-67	-6	-6	-10	-7
12	5,4	>-45	-48	-49	-56	-51	-	-	-	-
13	4,4	>-45	-40	-41	-50	-44	-	-	-	-
14	8,9	>-45	-47	-47	-52	-48	-	-	-	-
15	13,0	-45	-51	-50	-53	-50	-6	-5	-8	-5
16	17,7	-54	-54	-53	-54	-52	0	1	0	2
17	22,0	-54	-56	-55	-55	-54	-2	-1	-1	0
18	26,6	-50 *	-58	-56	-56	-55	-8	-6	-6	-5
19	27,4	-72	-82	-81	-80	-79	-10	-9	-8	-7
20	26,3	-64	-70	-68	-67	-67	-6	-4	-3	-3
21	30,6	-74	-83	-81	-80	-80	-9	-7	-6	-6
22	27,6	-80	-82	-81	-80	-79	-2	-1	0	1
23	28,0	-79	-79	-78	-77	-76	0	1	2	3
24	23,7	-73	-78	-76	-76	-75	-5	-3	-3	-2
25	19,7	-76	-76	-75	-76	-74	0	1	0	2
26	16,0	-75	-59	-58	-60	-58	16	17	15	17
27	15,1	-79	-58	-57	-60	-57	21	22	19	22
28	13,3	-58	-60	-59	-62	-60	-2	-1	-4	-2
29	12,8	-72	-62	-62	-65	-62	10	10	7	10
30	10,0	-58	-60	-60	-64	-61	-2	-2	-6	-3
ERRO ABSOLUTO MÉDIO [dB]							-0,7	0,1	-2,2	0,1
ERRO RELATIVO MÉDIO							1,8 %	0,8 %	5,0 %	1,1 %
DESVIO PADRÃO DO ERRO ABSOLUTO [dB]							7,9	7,9	8,2	8,0

Tabela 23 – Comparação entre valores medidos e calculados para o API

* O valor apresentado no ponto 18 apresenta um valor de potência mais elevado que os anteriores, embora esteja mais distante do transmissor (todos em visada direta com o AP). Este fato se deve à existência de um armário metálico posicionado no fundo do corredor que reflete o sinal, aumentando assim a intensidade de potência próximo ao mesmo. Em razão deste ponto estar destoante, não foi utilizado nas estatísticas gerais apresentadas ao final da tabela.

AP2										
ID do ponto	Dist. ao AP [m]	Potência Medida [dBm]	Potência Calculada [dBm]				Erro Absoluto [dB]			
			Mod 1	Mod 2	Mod 3	Mod 4	Mod 1	Mod 2	Mod 3	Mod 4
1	1,4	>-45	-31	-34	-49	-40	-	-	-	-
2	4,4	>-45	-40	-41	-50	-44	-	-	-	-
3	12,5	>-45	-50	-50	-53	-50	-	-	-	-
4	15,8	>-45	-53	-52	-54	-52	-	-	-	-
5	17,5	-60	-69	-68	-69	-67	-9	-8	-9	-7
6	18,1	-63	-72	-71	-72	-70	-9	-8	-9	-7
7	21,0	-72	-73	-72	-73	-71	-1	0	-1	1
8	19,0	-65	-72	-71	-72	-71	-7	-6	-7	-6
9	18,2	-70	-78	-77	-78	-77	-8	-7	-8	-7
10	20,7	-81	-85	-84	-85	-83	-4	-3	-4	-2
11	12,0	-53	-59	-58	-62	-59	-6	-5	-9	-6
12	8,0	>-45	-58	-58	-64	-60	-	-	-	-
13	9,7	-52	-54	-54	-58	-55	-2	-2	-6	-3
14	10,0	-60	-57	-57	-61	-58	3	3	-1	2
15	4,4	>-45	-40	-41	-50	-44	-	-	-	-
16	9,0	-54	-47	-47	-52	-48	7	7	2	6
17	13,1	-60	-51	-50	-53	-51	9	10	7	9
18	17,7	-58	-54	-53	-54	-52	4	5	4	6
19	22,2	-63	-56	-55	-55	-54	7	8	8	9
ERRO ABSOLUTO MÉDIO [dB]							-1,2	-0,5	-2,5	-0,4
ERRO RELATIVO MÉDIO							1,7 %	0,5 %	4,1 %	0,5 %
DESVIO PADRÃO DO ERRO ABSOLUTO [dB]							6,6	6,4	6,2	6,3

Tabela 24 – Comparação entre valores medidos e calculados para o AP2

Analisando os resultados referentes ao modelo 1 (*single-slope* com ajuste parcial), conclui-se que tanto o erro relativo quanto o erro absoluto são aceitáveis para um modelo de propagação de baixa complexidade. As médias dos erros absolutos dos APs 1 e 2 se mostraram muito próximas, comparando os modelos de propagação entre si. Todos os valores apresentados são inferiores a 2,5 dB, que é um valor baixo comparado a valores aplicados à margens em projetos *wireless indoor*. Outra observação importante é o fato de que o ajuste de uma única reta para os pontos medidos implica em uma superestimação dos pontos calculados sobre os pontos medidos até a distância aproximada do “ponto de quebra” e uma subestimação dos pontos calculados sobre os medidos deste ponto em diante. Este fato pode ser observado no gráfico da Figura 26.

Os modelos *dual-slope* são modelos de uma complexidade ligeiramente maior que os modelos *single-slope*. Entretanto, se aplicados em ambientes condizentes com a sua modelagem, podem retratar estimativas mais precisas que os modelos *single-slope*.

Para todos os modelos considerados nas Tabelas 23 e 24 utilizam-se os mesmos valores de perdas em penetração em obstáculos e EIRP.

- EIRP: 20 dBm
- Perda de penetração nas paredes de gesso fino: 6 dB (valor médio da linha referente a este obstáculo na Tabela 12)
- Perda de penetração nas divisórias de madeira e portas: 3 dB (valor médio da linha referente a este obstáculo na Tabela 12)

As demais constantes utilizadas em cada modelo são as apresentadas no capítulo 5.

7.4. Comparação entre os modelos ajustados

Analisando os resultados de erro e desvio padrão apresentados nas Tabelas 23 e 24, notamos que o modelo ajustado que proveu os menores valores (conseqüentemente melhores resultados) em ambas as tabelas foi o modelo 2 (Modelo *Single-slope* de ajuste completo).

Outro modelo que apresentou resultados muito próximos aos do modelo 2 foi o modelo 4 (Modelo *Dual-slope* de ajuste completo com dados de *LoS* e *NLoS*). O modelo 3 (Modelo *Dual-slope* de ajuste completo com dados de *LoS*) apresentou o pior desempenho dentro os modelos estudados. Isto é explicado pelo fato de que a

definição das constantes deste modelo foram feitas utilizando apenas dados de medições em *LoS*. Como o estudo de caso utilizado para a comparação entre os modelos não oferece visada direta na maior parte dos pontos (caso típico de uma instalação de uma *WLAN*), este modelo se distanciou da realidade das medidas. Entretanto, é o modelo mais apropriado para corredores extensos onde a visada direta ocorre até longas distâncias.

7.5. Planejamento de capacidade

Partindo de um pré-projeto com dois *APs*, dispostos conforme apresentado na Figura 40 e Figura 41, que atendem aos requisitos do cliente no que diz respeito à cobertura, foi feito um estudo de capacidade para as três fases do projeto definidas anteriormente.

Assumindo uma distribuição uniforme dos usuários no ambiente, pode-se fazer o estudo de capacidade total, desconsiderando o *throughput* referente a cada *AP*.

- Fase 1: 25 acessos simultâneos, *throughput* total de 9,0 Mbps
Utilizando os dois *APs* (802.11b) previstos, atinge-se um *throughput* total de 22 Mbps. Portanto, para esta fase do projeto, a capacidade não será uma fonte de preocupação, uma vez que mesmo que todos os 25 usuários estejam dispostos sob a área de cobertura de um mesmo *AP*, ainda assim, o requisito estará sendo atendido.
- Fase 2: 50 acessos simultâneos, *throughput* total de 17,5 Mbps
Nesta fase, os dois *APs* (802.11b) previstos, ainda atendem aos 50 usuários simultâneos, uma vez que estes estejam distribuídos no espaço de forma a não atingir o *throughput* máximo de 11 Mbps sob a área de cobertura de um mesmo *AP*.
- Fase 3: 100 acessos simultâneos, *throughput* total de 35,0 Mbps
Na fase final de expansão desta rede *wireless*, os dois *APs* já não atenderiam aos requisitos de utilização. Portanto, seria necessária uma expansão no número de *APs* utilizados. Neste caso, para garantir a utilização de cada um dos 100 usuários uma taxa de 250 kbps simultaneamente, haveria um déficit de 13 Mbps, que implicaria na utilização de dois novo *APs* (802.11b). A solução mais simples para isto seria a utilização de mais um *AP* na mesma posição em que estão os anteriores, mas conforme comentado na seção 6.5.1, só existem 3 canais sem sobre

posição, portanto, um dos *APs* seria uma fonte de interferências indesejada. Portanto, uma boa solução é manter os dois *APs* em seus posicionamentos (para minimizar os custos de implantação), adicionar um dos dois novos *APs* na mesma posição de um antigo (utilizando a mesma potência de transmissão). Finalmente, o segundo novo *AP* seria posicionado em um dos laboratórios, afastado dos *APs* anteriores e com potência de transmissão reduzida, de modo a restringir a sua área de cobertura a este ambiente e as salas vizinhas, onde há alta concentração de usuários. Entretanto, seria seguro (em relação à interferências), reduzir a potência de um dos *APs*, que utiliza o mesmo canal deste, e acrescentar uma antena externa em uma área que teria a cobertura comprometida.

Esta solução está representada na Figura 43 a seguir:

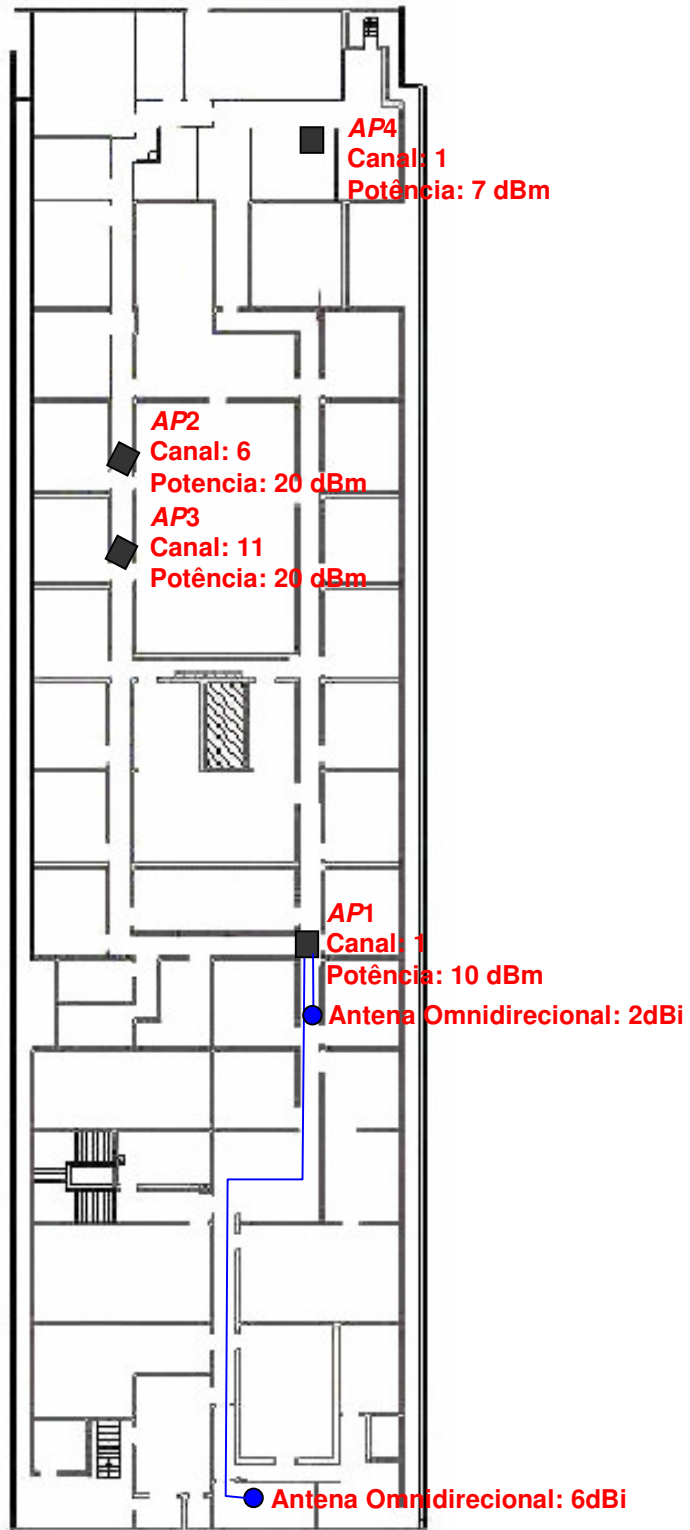


Figura 43 – Projeto da fase 3 no CETUC

7.6. Planejamento de frequência

Nas fases 1 e 2 do projeto, em que estão sendo utilizados apenas dois APs, não há necessidade de um planejamento de frequência elaborado. Basta que se utilizem dois canais sem sobreposição, sejam os canais 1 e 6, 1 e 11 ou 6 e 11.

Já na fase 3, é necessário um planejamento como o apresentado na Figura 43. Os APs 2 e 3 podem estar cobrindo a mesma área, já que estão utilizando canais sem sobreposição (canais 6 e 11). Tanto o AP4 quanto o AP1 também podem cobrir áreas em comum com os APs 2 e 3, já que os dois primeiros utilizam o canal 1 (que não apresenta sobreposição com o 6 ou com o 11). O que deve ser evitado é a sobreposição de cobertura entre os APs 1 e 4. Para tal, a potência de transmissão do AP4 é bem reduzida (7 dBm), o que limitará sua área de cobertura ao laboratório em que está posicionado e às duas salas adjacentes. Como o AP1 já cobre salas próximas ao laboratório com níveis de potência até -72 dBm, é aconselhável que se reduza a potência do mesmo para que não haja interferência entre os APs 1 e 4.

A outra fonte de interferência existente no local é um forno de microondas, mas os testes de propagação no local mostram que este não gerou níveis de interferência significativos, mesmo porque, este encontra-se muito próximo ao AP1.

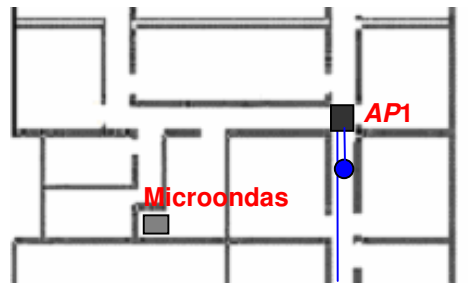


Figura 44 – Posição de fontes de interferência (microondas) no CETUC