

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

IURY DA SILVA BATALHA

**ESTUDO DA TECNOLOGIA IEEE 802.11ac
PARA O DESENVOLVIMENTO DE
MODELOS EMPÍRICO E CROSS-LAYER**

DM 16/2016

UFPA / ITEC / PPGEE
Campus Universitário do Guamá
Belém-Pará-Brasil

2016

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

IURY DA SILVA BATALHA

**ESTUDO DA TECNOLOGIA IEEE 802.11ac PARA O
DESENVOLVIMENTO DE MODELOS EMPÍRICO E
CROSS-LAYER**

Dissertação submetida à Banca Examinadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da UFPA para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Elétrica na área de Telecomunicações.

Orientador: Evaldo Gonçalves Pelaes
Coorientador: Bruno Souza Lyra Castro

UFPA / ITEC / PPGEE
Campus Universitário do Guamá
Belém-Pará-Brasil

2016

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFPA

Batalha, Iury da Silva, 1991-
Estudo da tecnologia ieee 802.11ac para o
desenvolvimento de modelos empírico e cross-layer / Iury
da Silva Batalha. - 2016.

Orientador: Evaldo Gonçalves Pelaes;
Coorientador: Bruno Souza Lyra Castro.
Dissertação (Mestrado) - Universidade
Federal do Pará, Instituto de Tecnologia,
Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Elétrica, Belém, 2016.

1. Sistemas de comunicação sem fio - modelos
matemáticos. 2. Redes locais sem fio - normas.
3. Métodos de simulação. 4. Vídeo digital. I.
Título.

CDD 23. ed. 621.38456

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

**ESTUDO DA TECNOLOGIA IEEE 802.11ac PARA O
DESENVOLVIMENTO DE MODELOS EMPÍRICO E
CROSS-LAYER**

AUTOR: IURY DA SILVA BATALHA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA À AVALIAÇÃO DA BANCA EXAMINADORA APROVADA PELO COLEGIADO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ E JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA ELÉTRICA NA ÁREA DE TELECOMUNICAÇÕES.

APROVADA EM:

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Evaldo Gonçalves Pelaes
(Orientador - PPGEE/UFPA)

Prof. Dr. Bruno Souza Lyra Castro
(Coorientador - UFPA/Castanhal)

Prof. Dr. Gervásio Protásio dos Santos Cavalcante
(Avaliador Interno - PPGEE/UFPA)

Prof. Dr. Jasmine Priscyla Leite de Araújo
(UFPA)

VISTO:

Prof. Dr. Evaldo Gonçalves Pelaes
(Coordenador do PPGEE/ITEC/UFPA)

Agradecimentos

Agradeço a Deus.

Agradeço à minha família pelo carinho e apoio dispensados durante toda a caminhada referente ao curso de Mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Pará.

Agradeço especialmente aos professores Dr. Evaldo Gonçalves Pelaes, Dr. Gervásio Protásio dos Santos Cavalcante e o Dr. Bruno Lyra Souza Castro, pela imensa paciência, orientação, inspiração e pelo conhecimento repassado.

Agradeço a professora Dr^a. Jasmine Priscyla Leite de Araújo pelas inúmeras contribuições para o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço pela amizade e por todas as contribuições dos meus amigos do LCT: Bruno Lyra, Edemir Matos, Thiago Araújo, Nelson Mateus, João Victor, Allan Costa, Allan Braga, Walter Martins, Leslye Castro, Diego Kasuo, Hélio Oeiras e a Charlene Guerreiro.

Agradeço aos meus amigos Petterson Marques pela ajuda no trabalho e a Andréa Lopes pela ajuda tanto no trabalho quanto na vida pessoal.

Ao CNPq¹ pelo apoio financeiro em forma de bolsa.

¹<http://www.cnpq.br/>

A mente que se abre a uma nova ideia jamais voltará ao seu tamanho original.
(Albert Einstein)

Sumário

1	Introdução	1
1.1	Trabalhos correlatos	1
1.2	Motivações	3
1.3	Objetivos	3
1.4	Contribuições	4
1.5	Organização da Dissertação	4
2	PADRÃO IEEE 802.11/802.11ac	5
2.1	Considerações iniciais	5
2.2	WLAN - Wireless Local Area Network	5
2.3	Arquitetura 802.11	6
2.4	Camada Física	8
2.5	IEEE 802.11ac	9
2.6	Considerações Finais	10
3	4k/UHD (Ultra High Definition)	11
3.1	Considerações Iniciais	11
3.2	Influencia do Cinema na tecnologia	11
3.3	Características da Imagem	11
3.4	Cinema e TV	12
3.5	Considerações finais	13
4	Qualidade de Experiência	14
4.1	Considerações iniciais	14
4.2	Abordagem subjetiva	15
4.3	Abordagem objetiva	15
4.4	Considerações finais	16
5	Abordagem Cross-layer	17
5.1	Considerações iniciais	17
5.2	Camadas de rede (TCP/IP)	17
5.3	<i>Cross-layer</i>	17
5.3.1	Novas interfaces	18
5.3.2	Fusão de camadas adjacentes	19
5.3.3	Acoplamento de protocolos	19
5.3.4	Calibração vertical	19

5.3.5	Proposta cross-layer	19
5.4	Considerações Finais	20
6	Metodologia	21
6.1	Considerações iniciais	21
6.2	Coleta de dados	21
6.3	Cenário	22
6.4	Ferramentas utilizadas	25
6.4.1	EvalVid	25
6.4.2	Matlab	25
6.4.3	Considerações finais	25
7	Abordagem e propostas de modelos <i>indoor</i>	26
7.1	Considerações iniciais	26
7.2	Modelos empíricos	26
7.2.1	Modelo Keenan e Motley	26
7.2.2	Modelo Multi-Wall	27
7.2.3	ITU	28
7.3	Propostas de modelos	29
7.3.1	Modelo de propagação para faixa de 5 GHz	29
7.3.1.1	Fator de perda por paredes (K_p)	29
7.3.1.2	Mínimos quadrados lineares	31
7.3.1.3	Ajuste do modelo	32
7.3.2	Modelo cross-layer para a perda de PSNR para faixa de 5 GHz	33
7.4	Considerações finais	34
8	Análise e resultados	35
8.1	Considerações Iniciais	35
8.2	Modelo de propagação	35
8.2.1	Análise e resultados	35
8.3	Modelo cross-layer para a perda de qualidade de vídeo	42
8.4	Mapa de cobertura e contorno para modelo de perda de propagação	46
8.5	Mapa de cobertura e contorno para modelo cross-layer	48
8.6	Conclusão	50
	Referências	51

Lista de ilustrações

Figura 1	Arquitetura do padrão 802.11.	6
Figura 2	Arquitetura <i>ad-hoc</i>	7
Figura 3	Arquitetura do cliente-servidor	8
Figura 4	Comparação entre resoluções.	12
Figura 5	Forma objetiva e subjetiva.	14
Figura 6	1 - Upward; 2 – Downward; 3 - Back and Forth.	18
Figura 7	Análise Cross-layer da proposta.	20
Figura 8	Esquema para a coleta de dados.	22
Figura 9	Planta baixa das salas.	22
Figura 10	Ambiente de medições disposto com os pontos medidos.	23
Figura 11	Ambiente de medições disposto com os pontos classificados.	24
Figura 12	Classificação de radiais.	30
Figura 13	Classificação de radiais.	30
Figura 14	Comportamento dos dados medidos ultrapassando 1 parede.	35
Figura 15	Comportamento dos dados medidos ultrapassando 2 paredes.	36
Figura 16	Comportamento dos dados medidos ultrapassando 3 paredes.	36
Figura 17	Comportamento e perda para 1 parede.	37
Figura 18	Comportamento e perda para 2 paredes.	37
Figura 19	Comportamento e perda para 3 paredes.	38
Figura 20	Comportamento da classificação.	38
Figura 21	Análise residual.	39
Figura 22	Comparação entre modelos para a travessia de 1 parede.	40
Figura 23	Comparação entre modelos para a travessia de 2 parede.	40
Figura 24	Comparação entre modelos para a travessia de 3 parede.	41
Figura 25	Resposta da PSNR referentes a valores de potência para 1 parede.	42
Figura 26	Resposta da PSNR com valores de potência para 2 parede.	43
Figura 27	Resposta da PSNR com valores de potência para 3 parede.	43
Figura 28	frame 91 com PSNR 33,74 (dB).	44
Figura 29	frame 91 com PSNR 15 (dB).	44
Figura 30	frame 91 com PSNR 11 (dB).	45
Figura 31	Perda de PSNR dentro do ambiente.	45

Figura 32	Modelo Cross-layer para perda de qualidade de vídeo.	46
Figura 33	Mapa de contorno para o modelo de perda.	47
Figura 34	Mapa de calor para o modelo de perda.	47
Figura 35	Mapa de calor para o modelo de perda com dois roteador.	48
Figura 36	Mapa de contorno para o modelo de perda com dois roteadores.	48
Figura 37	Mapa de contorno para o modelo cross-layer.	49
Figura 38	Mapa de calor para o modelo cross-layer.	49

Lista de tabelas

Tabela 1	Principais diferenças entre 802.11n e 802.11ac.	10
Tabela 2	Tabela MOS	15
Tabela 3	Classificação das Radiais.	23
Tabela 4	<i>Setup</i> para a medição.	24
Tabela 5	<i>Setup</i> video.	24
Tabela 6	Perda de penetração por obstáculo (dB)	27
Tabela 7	Valores para o N	28
Tabela 8	Valores para L_f	28
Tabela 9	Valor de n.	33
Tabela 10	Valor de l_m	33
Tabela 11	Comparação entre modelos usando métricas de avaliação para 1 parede.	41
Tabela 12	Comparação entre modelos usando métricas de avaliação para 2 paredes.	41
Tabela 13	Comparação entre modelos usando métricas de avaliação para 3 paredes.	41
Tabela 14	Métricas de avaliação	46

Lista de abreviaturas e siglas

AP	Access Point
BSS	Basic Service Set
CAA	Clear Channel Assessment
DBPSK	Differential Binary Phase Shift Keying
DCI	Digital Cinema Initiatives
DQPSK	Differential Quadrature Phase Shift Keying
DS	Distribution System
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum
ESS	Extended Service Set
FHSS	Frequency Hopping Spread Spectrum
GFSK	Gaussian Frequency Shift Keying
HEVC	High Efficiency Video Coding
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
ISM	Industrial, Scientific and Medical
ITU	International telecommunication Union
ITU-T	International Telecommunication Union - Telecommunication Standardization Sector
MAC	Media Access Control
MOS	Mean Opinion Score
MSE	Mean Square Error
PSNR	Peak Signal to Noise Ratio
QoE	Qualidade de Experiencia
QoS	Qualidade de Serviço

SMPTE Society of Motion Picture and Television Engineers

TCP Transmission Control Protocol

UHD Ultra High Definition

UHD Ultra High Definition

WLAN Wireless Local Area Network

Resumo

Dentro do contexto de estudos relacionados a transmissões de vídeo usando as redes sem fio, este trabalho apresenta dois modelos, o primeiro faz a predição da perda de propagação em relação ao número de paredes, distância e potência. Outro para mensurar o valor da perda de qualidade do vídeo usando a métrica PSNR, em relação ao número de paredes, distância e potência recebida. Foram realizadas campanhas de medições no bloco de salas do ITEC (Instituto de tecnologia) e no LCT (Laboratório de Computação e Telecomunicações) para a construção da base de dados. O planejamento da campanha de medições usou algumas estratégias, dentre elas a realização de testes utilizando a distância variável sem levar em conta o número de paredes no caminho direto entre o servidor e o cliente, os outros testes foram feitos com a distância fixa e adicionando paredes em seu caminho para obter a perda por obstáculos (paredes) e outra construída por radiais dentro do ambiente. Para as modelagens foi usada a média dos dados coletados para que se possa ter um melhor comportamento da base de dados e com isso obter um melhor ajuste, além disso, foi aplicada a técnica de resíduos junto a mínimos quadrados lineares para determinar os valores das constantes nas equações. O modelo de perda de propagação apresentou resultados satisfatórios em comparação com os modelos ITU e Keenan-Motley para as métricas de RMS, erro absoluto e desvio padrão relacionado aos dados medidos. O modelo de perda de propagação apresentou resultados satisfatórios em comparação com os modelos ITU e Keenan-Motley para as métricas de RMS, erro absoluto e desvio padrão relacionado aos dados medidos. Os modelos usados para fins de comparação tiveram valor de RMS acima de 6,5 dB, com erro absoluto acima de 6,2 dB e desvio padrão na faixa de 3 dB, enquanto o modelo proposto obteve um RMS de 2,99 dB, com erro absoluto de 2,03 dB e um desvio padrão de 3 dB. O modelo para perda de PSNR apresentou resultados admissíveis principalmente no erro absoluto de 2,61 dB, com valor de RMS de 3,75 dB e desvio padrão de 3,9 dB.

Palavras-chave: transmissões, perda de propagação, perda de qualidade do vídeo, mínimos quadrados lineares.

Abstract

Within the context of studies related to video streams, taking into account the wireless networks, this work presents two models where one makes the prediction of the propagation loss in the number of walls, distance and power in dB and another to measure value loss of video quality in relation to the number of walls, distance and power received in dB. measurement campaigns were conducted in a real scenario of classroom blocks the UFPA Institute of Technology (ITEC) and UFPA Telecommunication Laboratory (LCT) for the construction of the database. The planning of these measurement campaigns took into consideration some strategies: perform the tests using the variable distance regardless of the number of walls in the direct path between the server and the client, fixed distance between the client and the server and adding walls in your for path loss by obstacles and the other consists of building radial within the environment. For modeling data averages of data collected was used to obtain a better behavior database and thus get a better fit. It was also applied to wastes technique in conjunction with Linear Minimum Square technique to find the values of the constants in the equations. The propagation loss model showed satisfactory results in comparison with ITU and Keenan-Motley models for RMS metrics, absolute error and standard deviation related to the measured data. The models used for comparison purposes have RMS value above 6.5 dB above with absolute error of 6.2 dB and the standard deviation of 3 dB band, while the proposed model has obtained an RMS of 2.99 dB, with absolute error of 2.03 dB and a standard deviation of 3 dB. The model for loss of PSNR presented admissible results mainly in the absolute error of 2.61 dB with RMS value of 3.75 dB and a standard deviation of 3.9 dB.

Keywords: wireless networks, propagation model, loss of video quality, Minimum Square .

1 Introdução

Os sistemas de comunicação sem fio representam uma tecnologia que vive em constante evolução, principalmente em pontos como tráfego de dados e multiusuários. Levando em conta tal evolução, a aplicação de medidas necessárias à sua implantação está ligado ao melhor desempenho. Para projetos de rede sem fio deve-se primeiro estimar a área de cobertura, nesta tarefa são usados modelos matemáticos que determinam a perda de propagação em um meio. Em modelos *indoor* existe uma vertente que predizem a perda com visada direta mais perdas referentes a obstáculos, que podem ser paredes ou pisos. Estes modelos não associam as métricas de QoS (Qualidade de Serviço) e QoE (Qualidade de Experiência), como por exemplo avaliar a qualidade de um vídeo transmitido, PSNR (Peak Signal to Noise Ratio), em sua formulação.

Dentro deste contexto, foram desenvolvidos dois modelos: um prevê a perda de propagação observando a distância e perdas com obstáculos (paredes), e o outro que prevê a perda de qualidade em vídeo usando a métrica PSNR para ambientes com paredes.

1.1 Trabalhos correlatos

Neste tópico são estudados trabalhos similares a esta pesquisa, com o objetivo de verificar a evolução da tecnologia estudada, assim como modelagem e métricas de QoE (Qualidade de experiência) e QoS (Qualidade de serviço) para a análise.

Dentro do contexto de redes sem fio para ambiente *indoor* observa-se a implantação de novas tecnologias no mercado, saindo do 2.4 GHz para 5 GHz, esta tendência incentiva o meio acadêmico a realizar estudos voltados a sua capacidade de propagação e vazão de dados. Observando este cenário foram propostos trabalhos relacionados ao Wi-Fi e modelagem.

Um exemplo de pesquisa foi a dissertação de mestrado (OLIVEIRA, 2011). Onde é proposto uma predição de qualidade de serviço em redes WIMAX em aplicações de vídeo baseado em aspectos de qualidade de experiência, ou seja, ele baseou-se em QoE para ter o QoS, aplicado em redes WIMAX, usando as ferramentas EvalVid e Network Simulator 2 (NS-2).

Pode-se citar também outra dissertação (MENDES, 2011), sua pesquisa é baseada em redes sem fio que sofrem degradação de vazão a erros no canal, propondo um projeto de modelagem Cross-Layer. Neste trabalho é abordado várias propostas de modelagem

para serem classificadas de acordo com o impacto da utilização de algumas propostas Cross-Layer. Após a simulação dos modelos é feito uma comparação para apresentar qual deles é capaz de prever a vazão TCP (*Transmission Control Protocol*) com maior precisão em relação aos resultados. Outro exemplo que pode ser citado em (WINKLER; MOHANDAS, 2008), um artigo que mostra a evolução das métricas de qualidade de vídeo e audiovisual, mostrando técnicas de medição e seu estado atual da arte. Realizam experiências subjetivas e depois analisam os diversos tipos de assimétricas objetivas e seus usos. Também usam uma técnica híbrida V-Factor usada para informações de transporte e *bitstream*.

O trabalho (BARROS, 2012) leva em conta a transmissão de vídeo por um canal, e esse vídeo sofre a interferência de vários ruídos levando a perdas no vídeo recebido. Nesse contexto o objetivo do trabalho é a implementação de um CODEC de canal Reed Solomon, para realização dos experimentos. Nesse trabalho usaram codificação em txt e yuv para a avaliação e degradação do vídeo.

Neste artigo, apresentamos os resultados experimentais com análise para a avaliação subjetiva da qualidade em 4K UHD (*Ultra High Definition*) de vídeo codificado através do HEVC (*High Efficiency Video Coding*) ou H.265 para investigar a sua viabilidade para a TV 4K-UHD. A avaliação subjetiva de qualidade na HEVC-codificado (auditivos) de vídeo 4K-UHD é conduzida para as três taxas de bits alvo para 18, 23 e 36 Mb/s, usando os dois formatos de cor de YUV420 e YUV444, e as duas distâncias de visualização de 0,75 vezes a altura de um tela de visualização (H) e 1,5 h, (BAE et al., 2013).

O trabalho visto em (DIANU; RIIHIJARVI; PETROVA, 2014) apresenta os resultados de um estudo baseado em medição do desempenho para o emergente IEEE 802.11ac em um ambiente *indoor*. As medições foram realizadas em um prédio típico de escritórios, os resultados mostram que para pequenas distâncias o IEEE 802.11ac oferece um desempenho significativamente melhor em comparação com o IEEE 802.11n. Também estudou as propriedades de coexistência do IEEE 802,11ac através de medições, observando que a interferência do canal adjacente de dispositivos Wi-Fi pode ter um grave impacto no desempenho. Para a interferência de co-canal, o mecanismo de controle de acesso ao meio do IEEE 802.11ac permite partilhar o canal eficaz com outros dispositivos Wi-Fi.

No trabalho (HU et al., 2015), apresenta um modelo baseado em cadeias de Markov para o IEEE 802.11ac não-saturado aumentando o acesso ao canal de distribuição de rede (EDCA), que suporta o mecanismo de repartição TXOP. O modelo calcula rendimento 802.11ac EDCA, no pressuposto de condições ideais de canal. Através da simulação e de análise extensa dos resultados, mostram que o modelo pode prever com precisão a taxa de transferência das redes 802.11ac sob condições normais de operação.

O trabalho (CHENG, 2015) propôs uma nova geração de protocolo de comunicação. O SCTP (Stream Control Transmission Protocol) e o padrão de comunicação sem

fibro LAN, IEEE 802.11ac/VHT para camada de transporte e enlace de dados. A largura de banda WLAN pode chegar a transmissão de nível Gigabits por segundo cumprindo a exigência do usuário para o serviço de qualidade em comunicação sem fio. Embora SCTP e IEEE 802.11ac/VHT sejam protocolos de comunicação emergentes concebidos para aumentar a qualidade das comunicações sem fios, os resultados confirmam que SCTP proporciona um melhor desempenho de transmissão do que o TCP (Transmission Control Protocol) tradicional.

No trabalho (SHAH; RAU; BAIG, 2015) foram realizados experimentos em um ambiente para quantificar o ganho no rendimento médio fornecido pelo IEEE 802.11ac em comparação com IEEE 802.11n na presença de interferências causadas por outras fontes IEEE 802.11n. As experiências são realizadas por ambas: LoS (Line of sight) e NLoS (Non-Line of Sight). Nota-se que IEEE 802.11n (2,4 GHz) fornece a pior média rendimento devido à banda de frequência em 2,4 GHz altamente congestionado em nosso ambiente experimental. O IEEE 802.11n (5 GHz) com largura de canal de 40MHz fornece um ganho de 36 por cento na taxa de transferência média em comparação com a largura do canal de 20MHz em uma distância de 20 metros do router em condições LoS. Os resultados experimentais revelaram que IEEE 802.11ac atinge 42 por cento melhor rendimento médio, quando comparado com o IEEE 802.11n (5 GHz) a uma distância de 5 metros em condições LoS. Da mesma forma, IEEE 802.11ac oferece melhoria de 55 por cento em relação IEEE 802.11n (5 GHz) a uma distância de 15 metros em condições NLoS. Concluímos que IEEE 802.11ac efetivamente pode manipular interferências causadas por outros IEEE 802.11n (5 GHz) fontes e fornece rendimento mais elevado do que IEEE 802.11n para ambas as condições LoS e NLOS.

1.2 Motivações

Apesar do padrão IEEE 802.11ac ter sido lançado em 2013, o desenvolvimento deu no início de 2015, possibilitando dizer que é uma tecnologia de pouca usabilidade. Há estudos na literatura voltados à *throughput*, desempenho e comparações entre modelos antecessores, entre outros. Observando este cenário viu-se a necessidade de desenvolver um trabalho voltado à modelos empíricos que tentam prever a perda de propagação em um meio e outro que visa a perda de qualidade do vídeo usando um estresse na rede (vídeo transmissão), os modelos foram desenvolvidos em um cenário com obstáculos.

1.3 Objetivos

Este trabalho propõe dois modelos matemáticos de previsão: um para a perda de propagação e outro modelo *cross-layer* para a perda de qualidade de vídeo. Considerando

distância e obstáculos (paredes) como atenuadores, voltado ao padrão IEEE 802.11ac na faixa de 5 GHz.

1.4 Contribuições

- Modelo *indoor* de propagação para a frequência de 5 GHz voltada ao padrão IEEE 802.11ac;
- Modelo *indoor cross-layer* para a perda de qualidade de vídeo para a frequência de 5 GHz voltada ao padrão IEEE 802.11ac.

1.5 Organização da Dissertação

Este trabalho foi organizado em nove capítulos, sua configuração será abordada a seguir:

- No capítulo 2, fará uma abordagem sobre o padrão usado neste trabalho, o IEEE 802.11 / IEEE 802.11ac.
- No capítulo 3, aborda sobre a tecnologia Ultra HD.
- No capítulo 4, será abordado QoE e suas configurações para o modelo cross-layer.
- No capítulo 5, sobre abordagem Cross-layer.
- No capítulo 6, falará sobre metodologia
- No capítulo 7, apresenta os modelos e as propostas de modelagem *indoor*.
- No capítulo 8, apontará todos os resultados e análises para as modelagens.

2 PADRÃO IEEE 802.11/802.11ac

2.1 Considerações iniciais

Neste capítulo será considerado o padrão 802.11. É uma tecnologia de comunicação padronizada pelo IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) abordando suas configurações, assim como as principais modificações sofridas no padrão, arquitetura e camada física e MAC (*Media Access Control*).

2.2 WLAN - Wireless Local Area Network

Dentro do contexto de redes sem fio essa tecnologia esta cada vez mais presente em nossas vidas, a probabilidade de uma casa possuir internet e não ter um aparelho de rádio é muito pequeno, assim como em empresas, escolas, universidades entre outros locais. Esta tendência dar-se-á por ser uma tecnologia de baixo custo, fácil instalação e manuseio, além de conectar não apenas *desktops*, mas também *smartphones*, *notebooks*, *tablets*, televisores, e outros aparelhos de multimídia.

Os primeiros produtos para redes sem fio foram introduzidos no início da década de 90, usando a disponibilidade de Padrões ISM (Industrial, Scientific and Medical) de 900 MHz, depois de um tempo surgiram novos produtos que trabalham na frequência de 2.4 GHz, e no final da década apareceram produtos que trabalham na faixa de 5 GHz. Dentro deste contexto notou-se que faltava uma padronização de uso e compatibilidade, observando esta lacuna o IEEE desenvolveu e aprovou normas para o uso, ficou conhecida como IEEE 802.11 publicada em 1997. O padrão 802.11 não parou na primeira versão Experimental (TANENBAUM, 2003a) (FILHO et al., 2008), ao decorrer dos anos a tecnologia sofreu evoluções e com elas novas opções para o seu uso e manuseio, algumas evoluções é apresentadas a seguir:

- IEEE 802.11a: Atinge taxas de transmissão de até 54 Mbit/s no Padrão de 5 GHz utilizando a modulação OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), chega a distância máxima de 20 metros;
- IEEE 802.11b: Utiliza frequência de 2.4 GHz e usa DSSS (Direct-Sequence Spread Spectrum) para espalhamento de espectro, tem uma taxa de transmissão de 11 Mbit/s e chega a uma distância máxima de 100 metros;

- IEEE 802.11e: Provê QoS através de melhorias na camada MAC;
- IEEE 802.11i: Mecanismo de segurança conhecido como WPA2;
- IEEE 802.11g: Trabalha na frequência 2.4 GHz e utiliza DSSS (Direct-Sequence Spread Spectrum) tem taxa de transmissão de 54 Mbit/s e a distância máxima entre pontos é de 100 metros;
- IEEE 802.11n: Aumenta a vazão na camada MAC, taxa de transmissão de 54 a 300 MBit/s, transmissão em MIMO-OFDM e trabalha na faixa de frequência de 2.4 e/ou 5GHz;
- IEEE 802.11ac: Trabalha na faixa de 5 GHz, larguras de banda de 80MHz e 160 MHz, MU-MIMO e modulação até 256-QAM.

2.3 Arquitetura 802.11

A arquitetura é formada por vários componentes que se integram para a construção do *wireless* (TANENBAUM, 2003a) (FILHO et al., 2008) (ARAÚJO, 2011), esses componentes serão apresentados a seguir pela Figura 1.

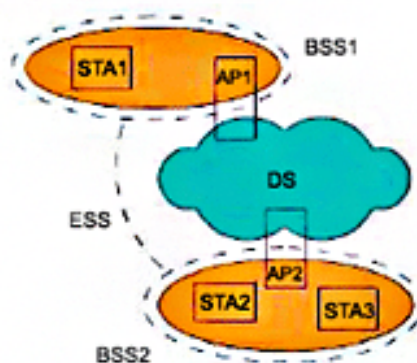


Figura 1: Arquitetura do padrão 802.11.

Fonte: Arquitetura do padrão 802.11.

A BSS (*Basic Service Set*) é o bloco fundamental de construção da arquitetura 802.11, o BSS é definido como um grupo de estações (STA) que estão sob o controle direto de uma única função de coordenação que determina quando uma estação pode transmitir ou receber dados.

As estações são dispositivos computacionais com interface para conectar em um ambiente sem fio. Elas devem possuir um MAC e uma interface de camada física e tem que estar de acordo com o padrão 802.11. Normalmente as STA são *desktops* ou PCs (*Personal Computers*), onde possuem uma interface de comunicação sem fio.

O DS (*Distribution System*) é uma estrutura lógica que interliga as BSSs, permitindo que estações pertencentes a BSSs diferentes se comuniquem e troquem informações entre si. Essa comunicação ocorre por conta dos AP (*Access Point*).

O ESS (*Extended Service Set*) é uma interconexão entre vários BSSs permitindo que tenha uma área maior, já que as BSSs não tem um alcance tão grande quanto ao de uma ESS. Assim ESS é um grupo de BSS conectados através de um *backbone* o qual é denominado de DS.

No padrão 802.11 existem dois tipos de redes sem fio: Ad Hoc e infraestrutura. Uma rede Ad hoc é composta somente por estações dentro de um mesmo BSS que se comunica entre si sem a ajuda de uma infraestrutura. Qualquer estação pode estabelecer uma comunicação direta com outra estação BSS sem a necessidade que a informação passe por um ponto de acesso centralizado. O padrão refere-se a uma rede Ad Hoc com um BSS independente. Já em uma rede infraestruturada, é utilizado um ponto de acesso que é responsável por quase toda a funcionalidade de rede. De modo a aumentar a cobertura de uma rede infraestruturada, vários pontos de acesso podem ser interligados através de um *backbone* chamado sistema de distribuição. Para melhor ilustrar a rede *ad-hoc* a Figura 2 representa este tipo de estrutura, e a Figura 3 indica uma rede cliente-servidor.



Figura 2: Arquitetura *ad-hoc*.

Fonte: (ARAÚJO, 2011).

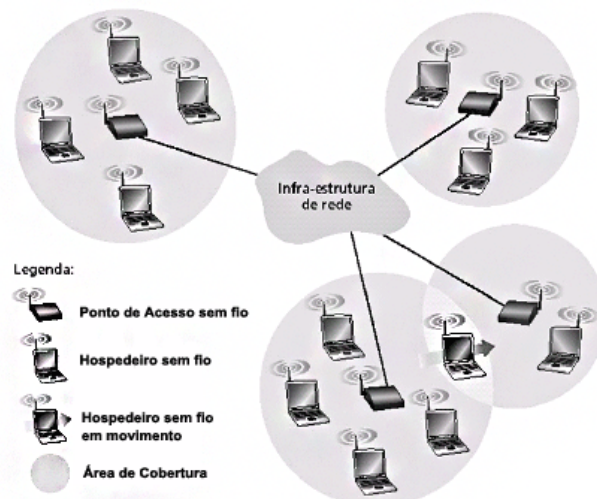


Figura 3: Arquitetura do cliente-servidor

Fonte: (ARAÚJO, 2011).

2.4 Camada Física

O padrão sem fio define três tipos de camada física (TANENBAUM, 2003a) (FILHO et al., 2008) (ARAÚJO, 2011): o FHSS (*Frequency Hopping Spread Spectrum*), DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*) e o infravermelho. Todas as camadas físicas incluem a provisão de CCA (*Clear Channel Assessment*) que é utilizada pela camada MAC para indicar se o meio está livre, oferecendo uma taxa de 1 ou 2 Mbps.

O FHSS é uma técnica de espalhamento espectral que divide o padrão passante total em vários pequenos canais, deixando o transmissor e receptor em um desses canais por certo período, depois deste tempo é feito um salto para o outro canal. Isso permite a existência de várias redes em uma mesma área por diferentes padrões pseudoaleatórios de uso do canal chamado sequência de saltos.

O FHSS usa Padrão ISM de 2.4000 a 2.4835 GHz, em alguns países são definidos com 79 canais. O Primeiro canal tem uma frequência central de 2.402 GHz e os canais subsequentes estão separados por 1 MHz, cada canal possui uma Padrão de 1 Mbps. Três diferentes conjuntos com 26 sequencias de saltos são definidos permitindo que vários BSSs coexistam em uma mesma área geográfica.

O acesso básico de 1 Mbps usa a modulação gaussiana por chaveamento de frequência GFSK (*Gaussian Frequency Shift Keying*) de dois níveis, na qual o dado passa por um filtro gaussiano base e é modulado em frequência.

O DSSS é um método alternativo de espalhamento de espectro onde os códigos são separados. O Método usa também a Padrão ISM de 2.4 GHz e a taxa básica de 1 Mbps é gerada através de uma modulação diferencial binária por chaveamento de fase DBPSK

(*Differential Binary Phase Shift Keying*) e a taxa de 2 Mbps usa uma modulação DQPSK (*Differential Quadrature Phase Shift Keying*). O espalhamento é feito através da divisão do Padrão disponível em 11 sub canais.

A especificação do infravermelho utiliza comprimentos de onda de 850 à 950 nm. O infravermelho foi projetado para ser usado em áreas fechadas e opera com transmissões não direcionais com alcance máximo de aproximadamente 10 m, caso exista outros fatores no espaço como fonte de calor ou luz solar, ou 20 m caso seja usado receptor mais sensível. A taxa básica de 1 Mbps é realizada através de uma PPM (*16-Pulse Position Modulation*) modulação por posição de pulso, onde quatro bits de dados são mapeados em 16 bits codificados para transmissão. Tem opção para 2 Mbps que usa 4-PPM, onde dois bits de dados são mapeados em 4 bits codificados para transmissão.

2.5 IEEE 802.11ac

O padrão IEEE 802.11ac também conhecido como 5G WiFi ou VHT começou a ser desenvolvido em 2008 e foi aprovado no final do ano de 2013, com melhorias na camada física e MAC (COMMITTEE et al., 2003). Operando restritamente na faixa de 5 GHz (MACHADO,). Novos recursos para 802.11ac:

- Modulação até 256-QAM para taxas de código de 3/4 e 5/6;
- MU-MIMO (Multiples user – Multiple-input and multiple-output);
- Larguras de banda obrigatória de 80 MHz para estações e 160 MHz nível opcionalmente para comunicação;
- Canal de ligação prolongada;
- Suporte para 8 fluxos espaciais;
- SDMA (Space-division multiple access);
- Modificações do MAC (Media Access Control);
- Downlink MU-MIMO.
- Beamforming com som padronizado e feedback para compatibilidade entre fornecedores.

Recursos obrigatórios:

- BCC (Binary Convolutional Codes);
- Fluxo único;

- 2 para 4 fluxos espaciais;
- STBC (Space-time Block Code);
- Transmissão Beamforming (TxBF);
- Intervalo de guarda de 400 ns.

Para analisar as diferenças entre o padrão atual e o antecessor, 802.11n, a Tabela 1 apresenta algumas diferenças em sua constituição.

Tabela 1: Principais diferenças entre 802.11n e 802.11ac.

	IEEE 802.11n	IEEE 802.11ac
Largura de banda	20 MHz e 40 MHz	20, 40 e 80 MHz (Obrigatório), 160 e 80 + 80 MHz,opcional
Multiusuários	Não	Opcional
Fluxos espaciais	Até 4	Até 8
Modulação	BPSK, QPSK, 16-QAM e 64-QAM	BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM e 256-QAM (opcional)
MCS desigual	Opcional	Não
Faixa de operação	2.4 GHz e 5 GHz	5 GHz
Preambulo Greenfield	Opcional	Não

2.6 Considerações Finais

Este capítulo teve como objetivo fornecer informações sobre o IEEE 802.11 e para IEEE 802.11ac, padrão usado no desenvolvimento deste trabalho. Tendo em vista que o conhecimento deste padrão é de fundamental importância para o desenvolvimento dos modelos.

3 4k/UHD (Ultra High Definition)

3.1 Considerações Iniciais

Este capítulo abordará a tecnologia 4k UHD, apontando as características, diferenças e o seu desenvolvimento, este capítulo foi desenvolvido com base no trabalho (SANTANA; ROCHA, 2014).

3.2 Influencia do Cinema na tecnologia

Com o avanço na qualidade de imagens e vídeos surgiu uma serie de resoluções e padrões para imagem, entre elas o 4k, termo usado para representar uma imagem composta por uma resolução de 4096x2160 *pixels*. Este desenvolvimento surgiu em parte pela necessidade do cinema em apresentar qualidade nos filmes. Em 2002, grandes empresas, Disney, Fox, MGM, Universal Studios, Sony, Warner Bros e Paramount criaram o DCI (Digital Cinema Initiatives), entidade responsável em estabelecer especificações uniformes para o cinema digital garantindo a qualidade (SANTANA; ROCHA, 2014). Essas definições foram transformadas em normas pela SMPTE (Society of Motion Picture and Television Engineers).

3.3 Características da Imagem

Para entender as características de uma imagem, é necessário compreender a base para representar um *frame*. A primeira característica é o pixel, a menor unidade de uma imagem digital. Este termo vem da união *picture element*, para saber a quantidade de *pixels* em uma imagem, basta multiplicar as quantidades de linhas por colunas suportadas, por exemplo, o 4k possui 4096 linhas por 2160 colunas gerando mais de oito milhões de *pixels*, em comparação com o 2k que possui 1920 por 1080 que da mais de dois milhões de pixels por imagem. Ou seja, a representação em 4k é aproximadamente quatro vezes superior ao Full HD. A Figura 4 mostra a comparação entre as resoluções.



Figura 4: Comparação entre resoluções.

Fonte: (SANTANA; ROCHA, 2014)

Oferecendo melhor qualidade de imagem e som a tecnologia UHDTV não só trará telas cada vez maiores, como vai aproximar o telespectador a TV. De acordo com Liliana Nakonechnyj "à medida que aumenta a definição da imagem, a pessoa fica mais próxima à tela". O objetivo, segundo ela, é trazer ao telespectador a sensação de imersão, juntando o áudio e a imagem. A pessoa vai sentir mais imersiva naquele programa.

3.4 Cinema e TV

Os avanços nas imagens e vídeos estão presentes também na TV, mostrando-se apta para competir com o cinema quando fala-se de tecnologia da imagem. O desenvolvimento do cinema, usando vídeos de ultra definição influencia a TV a melhorar seus serviços.

Esta evolução pode ser vista em grandes empresas, pois já vem investindo em equipamentos que possibilitam o trabalho nas resoluções em 4K e até mesmo 8K.

Em 2014 foram feitos testes em nível experimental da primeira transmissão em 4K no Brasil, durante a copa do mundo. Em 2016, serão feitas também, transmissões em 8K no Japão via satélite, e em 2020 usando vias terrestres, por meio de torres de televisão. A relatos que a emissora oficial das olimpíadas no Brasil, fará transmissões, via internet, dos jogos assim como de minisséries.

De acordo com Luís Padilha, diretor de marketing e vendas da área profissional da Sony Brasil, "O 4K vai explodir na televisão em muito pouco tempo. Na Sony vemos que a indústria do consumo vai fazer com que o 4K se instale porque já é viável ter TVs 4K a preços acessíveis, o que fará com que a demanda de conteúdos em 4K aumente"

O principal desafio para realizar as transmissões, consiste em lidar com imagens que exigem uma largura de banda superior as transmissões em HD, que no início eram cinco vezes mais pesadas do que as imagens SD (Standard Definition), e graças à evolução das técnicas de compressão, têm sido equiparadas ao que era exigido na transmissão SD em MPEG-2, na ordem dos 10 a 12 Mbps, usando algoritmos de compressão MPEG-4. Nas infraestruturas de produção é usado sinais HD (High Definition) com cadências de dados de 200 a 400 Mbps, garantindo ótima qualidade.

Acredita-se que até 2020 essas metas sejam atingidas na transmissão em 4K ou mesmo em 8K 7680x4320 pixels, onde a quantidade de informação chega a dezesseis vezes à resolução Full HD 1920x1080 pixel. Já o cinema digital avançou para a resolução 4K, trabalhando-se nesse caso com cadências de dados bastante superiores, desde processos de tratamento das imagens RAW, sem compressão, que exigem infraestruturas de quatro canais 3 Gbps, até processos com compressão que amortizam as necessidades de processamento das imagens 4K para cadências de 800 Mbps. O sinal HD convencional e sem compressão tem 1,5 Gbs. Já o sinal 8K pode chegar a 200 Gbs, em sua resolução máxima.

3.5 Considerações finais

Este capítulo tem como objetivo fazer abordagem a uma tecnologia voltada a resolução e qualidade aplicadas em imagem e vídeo. Para este trabalho foi usado vídeo em 4k para o tráfego em rede, foi usado este procedimento para observar o comportamento do vídeo por um meio de comunicação sem fio (IEEE 802.11ac) e posteriormente o desenvolvimento do modelo *cross-layer* como métrica de avaliação a PSNR e potência. A escolha do 4k dar-se por ocupar uma larga banda dos sistemas de comunicação, deixando-o sensível ao meio, assim esta tecnologia seria uma forma de avaliar o desempenho do padrão 802.11ac.

4 Qualidade de Experiência

4.1 Considerações iniciais

Este capítulo apresenta as métricas de QoS (Qualidade de serviço), este tipo de avaliação está relacionado ao ponto de vista da rede, como dados coletados por ela, deixando de lado a qualidade percebida pelo usuário (OLIVEIRA, 2011) (GREENGRASS; EVANS; BEGEN, 2009).

Para atender o espaço não preenchido pelo QoS, foi desenvolvido um novo tipo de avaliação, o QoE (Qualidade de experiência). O QoE tem como objetivo observar o ponto de vista do usuário nas aplicações, esse avaliação pode ser feita de duas formas (OLIVEIRA, 2011):

- A subjetiva: leva em consideração a emoção, tarifação, experiência;
- A objetiva: leva em conta modelos matemáticos que tentam modelar a percepção humana através de algoritmos baseados em informações coletadas da rede, no transporte e fatores de aplicação.

A Figura 5 ilustra as formas objetivas e subjetivas para o QoE.

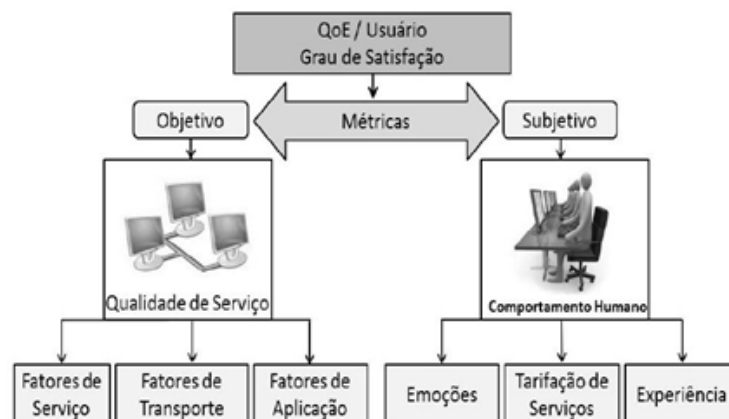


Figura 5: Forma objetiva e subjetiva.

Fonte: (OLIVEIRA, 2011)

4.2 Abordagem subjetiva

A abordagem subjetiva é de grande importância para se avaliar um vídeo, pois leva em conta a indicação subjetiva da percepção humana se os frames tem uma qualidade boa ou não. No entanto o índice de qualidade dado por um humano depende de vários fatores como experiência em avaliação, humor e outros sentimentos que estão no momento da avaliação (ARAÚJO, 2011). Os métodos de avaliação subjetiva baseiam-se em técnicas definidas por padrões internacionais, como a ITU-T (International Telecommunication Union - Telecommunication Standardization Sector). Existem várias normas específicas para cada aplicação à serem avaliadas, como televisão a cabo, *broadcast*, aplicações multimídias entre outras. Nessas normas estão contidas recomendações que deverão ser seguidas em cada etapa da análise, seja na configuração do ambiente, escolha dos avaliadores, metodologias de testes entre outros. Uma das especificações mais conhecidas e utilizadas são a BT.500 feita pela ITU (ITU, 2000) e a P.900 também feita pela ITU (ITU, 2008). O processo de avaliação na forma subjetiva obedece a procedimentos específicos, tem início com a construção de um painel de observadores que irá avaliar o(s) vídeo(s). após avaliação é iniciado o processo de interpretar o que observaram atribuindo uma nota de acordo com o nível de qualidade. Essas notas estão ligadas a uma tabela pré-determinada onde os valores definidos pelos usuários serão ligados a este, o resultado é medido pelo MOS (*Mean Option Score*) onde o nível de qualidade varia em uma escala de 1 a 5, podendo ser observado na Tabela 2.

Tabela 2: Tabela MOS

MOS	Valor
5	Excelente
4	Bom
3	Razoável
2	Pobre
1	Ruim

4.3 Abordagem objetiva

A abordagem objetiva dispensa a interação humana para avaliação, passando a usar técnicas que utilizam algoritmos e modelos matemáticos computacionais para mensurar as características do vídeo ou fazer uma previsão aproximada da qualidade em que é observada por nós. Algumas vantagens em se utilizar a forma objetiva é facilitar o processo de avaliação, diminuindo o tempo da análise, outra facilidade é que depois de implementada tende a ser muito mais simples que a forma subjetiva, pois a análise é feita através de um programa, fazendo comparações entre os vídeos transmitidos e os recebidos (WINKLER; MOHANDAS, 2008) (JUNIOR, 2008). Algumas métricas foram

desenvolvidas para estimar ou prever o nível de qualidade dos *streaming* associado com a percepção humana. Neste trabalho é usado a PSNR (*Peak Signal to Noise ratio*) medido em forma logarítmica e depende do MSE (*Mean Square Error*). O MSE é medido através da soma das diferenças quadráticas de todos os pixels da imagem original e da processada. O resultado é dividido pelo número total de *pixels* (OLIVEIRA, 2011) (BRAGA, 2014), observe a Equação 4.1.

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [f(i, j) - F(i, j)]^2}{M \times N} \quad (4.1)$$

O $f(i, j)$ representam os *pixels* na imagem original, o $F(i, j)$ representa o valor do *pixel* na imagem reconstruída, M é o número de linhas e o N é o número de colunas (1920x1080) (OLIVEIRA, 2011) (BRAGA, 2014). O MSE sempre tem valores positivos e seu valor mínimo é zero, isto indica que as imagens são iguais. O valor do MSE é usado para calcular o valor da PSNR, esta métrica de avaliação é usada para o desenvolvimento do modelo cross-layer presente nesta dissertação, a Equação 4.2 apresentará a expressão para a obtenção da PSNR.

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{(2^n - 1)^2}{MSE} \quad (4.2)$$

Onde o $(2^n - 1)^2$ representa o quadrado do maior valor possível de sinal na imagem, n é o número de bits de cada imagem. O valor da PSNR é dado em dB (Decibel).

4.4 Considerações finais

Neste capítulo foi abordado de forma resumida as métricas de qualidade. Para este trabalho, foram usadas métricas pertencentes ao QoE como o MSE e PSNR, em cima destas foi desenvolvido um modelo de predição para qualidade de vídeo observando a perda de PSNR em relação a potência recebida.

5 Abordagem Cross-layer

5.1 Considerações iniciais

Este capítulo faz abordagem a modelagem *Cross-layer*, este tipo de modelagem observa as camadas do padrão TCP/IP ou OSI, criando uma interface para subir ou descer em camadas.

5.2 Camadas de rede (TCP/IP)

Neste tópico serão abordados conceitos de arquitetura de redes, para facilitar o entendimento dos projetos em *Cross-layer* (TANENBAUM, 2003b). A arquitetura da rede é organizada em pilha ou níveis de camadas para reduzir a complexidade de projeto dos protocolos, esses protocolos são um conjunto de regras para comunicação entre as camadas adjacentes, O padrão TCP/IP será abordado a seguir:

Camada de aplicação: é a camada mais próximo do usuário, já que usam alguns protocolos como os HTTP, HTTPS, FTP, DNS, BitTorrent, POP3 entre outros;

Camada de transporte: estabelece comunicações fim-a-fim através da rede, serviços usados nesta camada são TCP, UDP e SCTP;

Camada de internet: esta camada é a responsável pelas conexão entre as redes locais, roda os protocolos ICMP, IGMP e IP;

Camada rede/física: Responsável basicamente pela transmissão de bits.

5.3 *Cross-layer*

A arquitetura das redes tiveram mudanças desde que foram criadas, padronizações já não são o principal problema. Sabendo disso apareceram as primeiras propostas visando alterar características da arquitetura em camadas, conhecidas como projetos *Cross-Layer*, esses projetos foram desenvolvidos por diferentes universidades levando a uma grande quantidade de propostas com o objetivo de aperfeiçoar vários parâmetros da rede. De acordo com (SRIVASTAVA; MOTANI, 2005), uma arquitetura em camadas divide as tarefas de uma rede em módulos e define uma hierarquia de serviços providos por cada uma das partes, processado por protocolos, proibindo a comunicação entre camadas não

adjacentes dentro da arquitetura. Um projeto Cross-Layer visa quebrar a regra de duas camadas não adjacentes de se comunicarem, esta violação reduz o significado da arquitetura deixando de representar o sistema atual, se houver mais modificações na arquitetura original pode-se perder sua estrutura levando a sua redefinição. Essas violações fazem necessárias devido a presença de enlaces sem fio, e elas acontecem basicamente por três motivos, primeiro por problemas presentes apenas em redes sem fio, novas modalidades de comunicação e possibilidade de comunicações oportunistas. Um ponto positivo para esse tipo de projeto é que podemos estabelecer caminhos alternativos e mais rápidos para modelos em camadas.

Dentro da literatura existem vários tipos de projetos Cross-Layer, esses projetos serão exemplificados nos sub-tópicos com um breve detalhamento baseados nos trabalhos (MENDES, 2011) (GREENGRASS; EVANS; BEGEN, 2009).

5.3.1 Novas interfaces

O objetivo desse tipo de modelagem é o compartilhamento de informações entre camadas dinamicamente. Neste caso a violação é implantação de uma nova camada, esse tipo de modelagem se divide em três categorias, a *Upward* segue o fluxo de camada inferior para a superior, a *Downward* segue o fluxo contrário, ou seja, da camada superior para a camada inferior e por último a *Back and Forth* que pode seguir qualquer direção no sentido vertical das camadas. A Figura 6 apresenta o comportamento das interfaces citadas acima (MENDES, 2011).

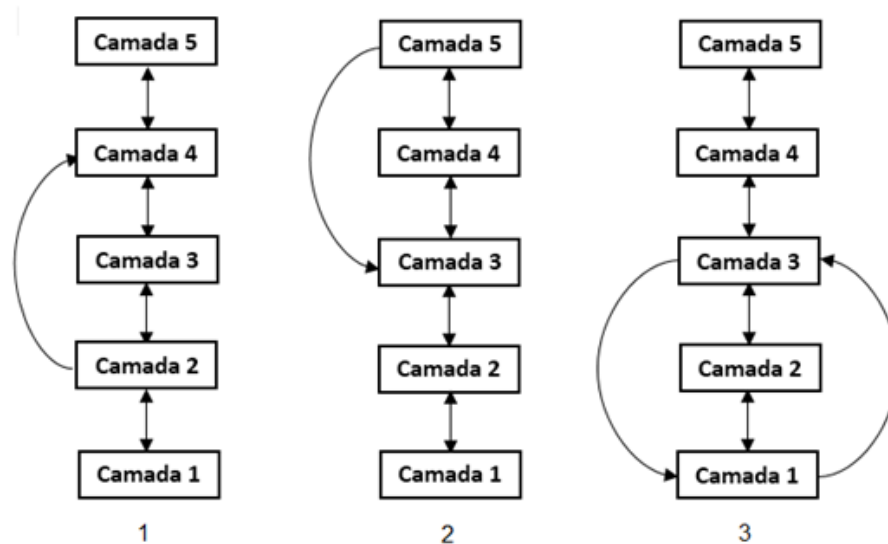


Figura 6: 1 - Upward; 2 - Downward; 3 - Back and Forth.

5.3.2 Fusão de camadas adjacentes

A fusão de camadas adjacentes é outro método para modelagem Cross-layer, esta junta duas camadas de modo que o serviço prestado pelos dois níveis anteriores sejam feitos pela nova camada, para esse procedimento não há a necessidade de criar uma nova interface de comunicação entre elas, para a comunicação é usado interfaces já existentes na arquitetura.

5.3.3 Acoplamento de protocolos

Esse tipo de modelagem usa a união de protocolos, isto acontece por que alguns parâmetros de um determinado protocolo estão reservados para outro protocolo pertencente a uma camada diferente, possibilitando a comunicação entre eles, não havendo assim a necessidade de uma interface.

5.3.4 Calibração vertical

Esse outro tipo de modelagem faz ajustes de parâmetros em várias camadas simultaneamente, isso se dá para que se possa ter um melhor desempenho da camada de aplicação.

5.3.5 Proposta cross-layer

O modelo de perda de PSNR usa o projeto baseado no fluxo *upward*, envolvendo uma análise ou comunicação entre uma camada inferior com uma superior. Este trabalho usa a análise baseada no estudo da influência da camada física na camada de aplicação. Usando o modelo de camadas TCP/IP, com a camada de enlace fora da camada física, tem-se o esquema da proposta cross-layer.

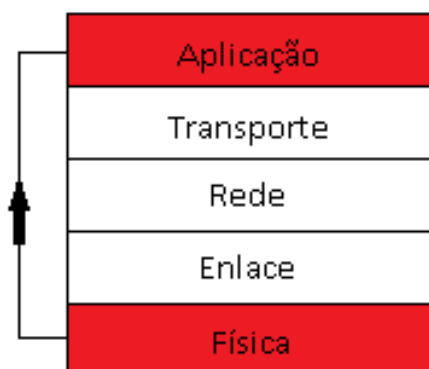


Figura 7: Análise Cross-layer da proposta.

Esta Análise foi baseada na captura de dados dentro de cenários reais, onde foi possível verificar um comportamento que possibilitava a modelagem da perda de PSNR a partir de valores de potência recebida.

5.4 Considerações Finais

Este capítulo apresentou o estudo sobre modelagem Cross-layer, tem como objetivo deixar mais fluido a comunicação entre camadas não necessariamente adjacentes. A modelagem utilizada neste trabalho visa em uma análise na camada física para estimar o comportamento na camada aplicação caracterizando um modelo *upward*.

6 Metodologia

6.1 Considerações iniciais

Neste capítulo será apresentado a metodologia para o desenvolvimento do trabalho, incluindo a campanha de medições, ferramentas utilizadas, assim como cenário e codificação usada. Também mostrará algumas dificuldades em relação ao estudo feito.

6.2 Coleta de dados

No estudo de propagação e modelagem Cross-layer a coleta de dados é importante, pois revela a tendência ou comportamento da potência e PSNR em um determinado ambiente e situação. Para este trabalho os dados cruciais são: PSNR, MSE, potência, distância e obstáculos (paredes). Antes do desenvolvimento das medições, foi desenvolvido um pré-estudo sobre o comportamento da frequência de 5 Ghz usando 20 MHz de largura de banda no ambiente escolhido, após este estudo iniciou-se a campanha de medições para o cenário. A tecnologia usada para realizar as transmissões foi o padrão IEEE 802.11ac. A base de dados foi validado com base no pré-estudo realizado, checando se cada ponto fazia parte do valor esperado, eliminando-o e refazendo a medição caso viesse um *outline*. Para a coleta os dados foi usado o *framework* EvalVid e Acrylic, estes são responsáveis por capturar PSNR, potência, modulação e SNR. No tratamento dos dados foram usados os softwares MSU e Matlab. O esquema para a coleta de dados esta representado na Figura 8.



Figura 8: Esquema para a coleta de dados.

6.3 Cenário

Para realizar o estudo proposto nesse trabalho precisamos de um cenário para a obtenção de dados, normalmente os ambientes usados para a aplicação são simulados por softwares, essas simulações são aproximadas a um ambiente real, tendo em vista vários quesitos para sua construção. Este trabalho usou um cenário real para as campanhas de medições, foram desenvolvidas em salas de aula do bloco de engenharia de telecomunicação, considerando a composição de cadeiras, mesas e paredes de alvenaria com portas de madeira e vidro, vista na Figura 9.

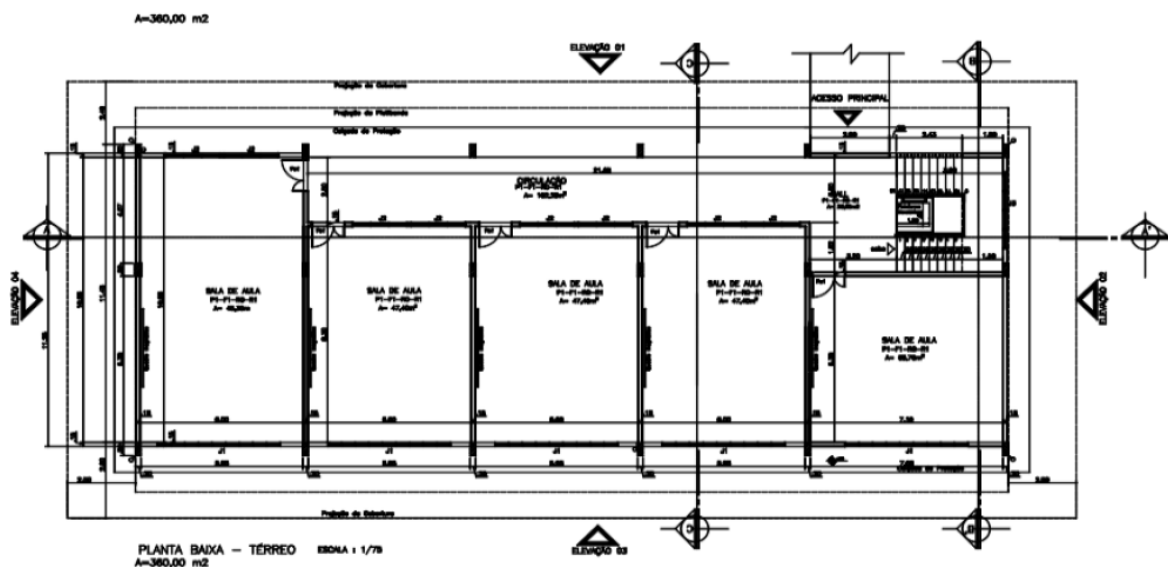


Figura 9: Planta baixa das salas.

Dentro deste ambiente a estratégia de medição foi composta por um rádio wi-fi e vários clientes posicionados em partes diferentes do cenário, a posição do transmissor e dos receptores foi definida de acordo com uma rotina feita no Matlab que previa as posições de forma linear com a mesma distância entre os pontos distribuídos em radiais. A Figura 10 apresenta o ambiente com os pontos dispostos.

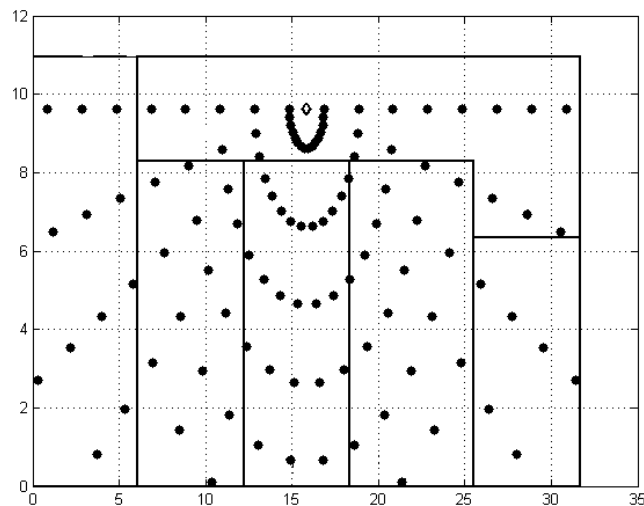


Figura 10: Ambiente de medições disposto com os pontos medidos.

Com o objetivo de saber a perda por paredes, fez-se uma classificação nas radiais, separando por quantidade de paredes atravessadas por radiais. A Tabela 3 apresenta classificação e a Figura 11 mostra a classificação das radiais dentro da planta.

Tabela 3: Classificação das Radiais.

Radial	Cor	Paredes
R1	Azul	0
R16	Verde	1
R10	Verde	1
R9	Verde	1
R8	Verde	1
R14	Vermelho	3
R13	Vermelho	3
R4	Vermelho	3
R15	Amarelo	2
R12	Amarelo	2
R11	Amarelo	2
R7	Amarelo	2
R6	Amarelo	2
R5	Amarelo	2
R3	Amarelo	2
R2	Amarelo	2

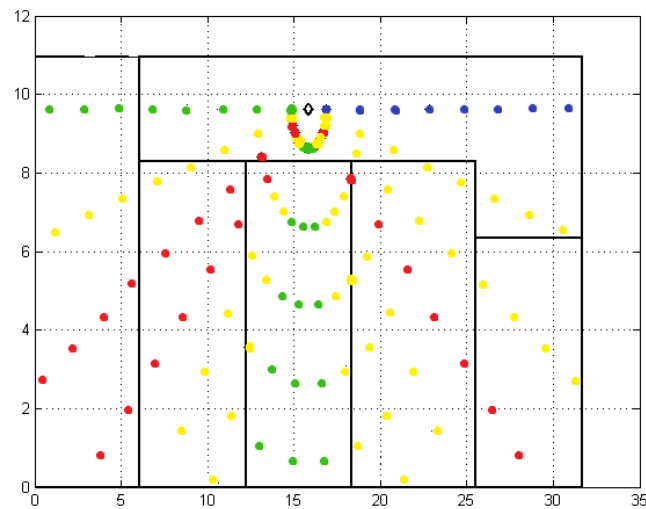


Figura 11: Ambiente de medições disposto com os pontos classificados.

Depois de selecionar as semelhanças entre radiais, selecionou os pontos onde haviam os obstáculos (paredes) para cada grupo. Esta estratégia é fundamental, pois temos a perda relativa ao atravessar uma parede usando a média dos pontos. A estratégia usada para definir a perda sem obstáculos foi desenvolvida após a perda por paredes, usando apenas o corredor para achar a tendência desta perda. O modelo proposto é composto por soma de perdas: perda com a distância, perda com a frequência e perda por obstáculos. Nas campanhas de medições foram fixados alguns parâmetros afim de ter o mesmo *setup* para os pontos, a Tabela 4 mostra as configurações usadas.

Tabela 4: *Setup* para a medição.

Parâmetros	Valores
Tipo de antena	Omni
Ganho de transmissão	5 dBi
Ganho de recepção	0 dBi
Potência de transmissão	15,5 dBm

Para o vídeo também foram estipulados parâmetros para atender o mesmo *setup* nos pontos, estes serão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5: *Setup* vídeo.

Parâmetros	Valores
Resolução	3840x2178
Tamanho do vídeo	101 Mb
Duração	10 s
Codec	x.264

6.4 Ferramentas utilizadas

6.4.1 EvalVid

O EVALVID é um *framework* para transmissão e obtenção de métricas para vídeo, a principal motivação para seu uso neste trabalho é a capacidade de reconstruir o vídeo mesmo sem alguns quadros, esta característica possibilita realizar uma comparação com o vídeo original. Além desta característica esta ferramenta permite o uso de métricas pertencentes ao QoE e QoS. Para o presente trabalho o Evalvid foi usado dentro das medições, para codificar o vídeo a ser transmitido, realizar transmissão, processo de reconstrução, informações sobre o canal como o Jitter, perda e atraso.

6.4.2 Matlab

O MATLAB é uma ferramenta apropriada para o desenvolvimento de aplicações de forma estruturada. A ferramenta é bem adequada para implementação, simulação e testes de soluções com precisão. Os elementos básicos do programa são vetores e matrizes, levando a ter uma facilidade com esse tipo de problemas, além de possuir uma extensa biblioteca de funções matemáticas, geração de gráfico e manipulação de dados. Por esse motivo o MATLAB foi de extrema importância para a pesquisa, através dele foi possível realizar as modelagens, tratamento de dados, análise de processo e estudo de modelos.

6.4.3 Considerações finais

Neste capítulo foi abordado o ambiente de medição, estratégias para medições, tratamento de dados e ferramentas utilizadas para processos.

7 Abordagem e propostas de modelos *indoor*

7.1 Considerações iniciais

Este capítulo fará uma breve abordagem sobre alguns modelos de propagação, que usam as mesmas características que o modelo proposto para melhor compreender a forma de trabalho.

7.2 Modelos empíricos

Modelos empíricos são de fácil aplicação, eles dão uma previsão sem gastar muitos recursos com baixo processamento computacional, vale ressaltar que esses modelos matemáticos apenas são aplicados a fenômenos de propagação. A maioria deste modelos considera a perda no espaço livre somando perdas que estejam no percurso como paredes e andares. Com o intuito de contextualizar serão feitas abordagens a modelos que utilizam paredes como parte da perda, este capítulo tem como base os trabalhos (NAJNUDEL, 2004) (RODRIGUES, 2011).

7.2.1 Modelo Keenan e Motley

O modelo Keenan e Motley é baseado do COST-231 e é considerado um dos mais abrangentes, pois prevê a perda tanto por paredes como por andares. Trabalha na faixa de 1.8 Ghz até 5.2 Ghz, o modelo é do tipo *site-specific* onde há necessidade de especificar características do cenário estudado (NAJNUDEL, 2004) (RODRIGUES, 2011).

$$L = L_0 + 10n \log_{10}(d) + \sum_{i=1}^I K_{f,i} L_{f,i} + \sum_{j=1}^J k_{w,j} L_{w,j} \quad (7.1)$$

onde:

L_0 : perda de propagação a um metro da antena irradiante (dB);

d : distância percorrida pelo sinal (m);

n : coeficiente de propagação;

$L_{f,i}$: perda de propagação do sinal através do piso (dB);

$K_{f,i}$: número de pisos com a mesma característica;

$L_{w,j}$: perda de propagação do sinal através da parede j(dB);

$K_{w,j}$: numero de paredes com a mesma característica ;

I: número de pisos atravessados pelo sinal;

J: número de paredes atravessadas pelo sinal.

Os valores da perda de penetração em obstáculos são vistos na Tabela 6.

Tabela 6: Perda de penetração por obstáculo (dB)

Obstáculo	1.8 Ghz	2.4 Ghz	5.2 Ghz
Concreto espesso (sem janelas)	13	17	36
Vidraça	2	13	15
Parede com janela (valor exato depende da razão entre a área de janelas e de concreto)	2 a 13	13 a 17	15 a 36

7.2.2 Modelo Multi-Wall

O modelo Multi-Wall baseia-se do COST-231 Keenan e Motley. Diferenciando apenas da atenuação por andar, considerando que é uma perda não linear. Este modelo se encaixa como do tipo *site-specific* já que há a necessidade de especificar características do cenário estudado (NAJNUDEL, 2004).

$$L = L_0 + 10n \log_{10}(d) + L_f \left[\frac{L_f + 2}{L_f + 1} - b \right] K_f + \sum_{j=1}^J k_{w,i} L_{w,i} \quad (7.2)$$

onde:

L_0 : perda de propagação a um metro da antena irradiante (dB);

d: distância percorrida pelo sinal (m);

n: coeficiente de propagação;

L_f : perda de propagação do sinal através do piso (db);

K_f : número de pisos com a mesma característica;

b fator de correção da atenuação dos pisos;

$L_{w,i}$: perda de propagação do sinal através da parede j(dB);

$K_{w,i}$: número de paredes com a mesma característica;

J: número de paredes atravessadas pelo sinal.

7.2.3 ITU

É um modelo *site-general* onde não há a necessidade de muita informação sobre o ambiente, sendo apenas necessário identificar o tipo de ambiente. Nesse modelo a atenuação entre o transmissor e receptor é representado por um fator na equação, e atenuação devido a obstáculos como paredes e colunas está incluso no fator de atenuação com a distância (n), o modelo atinge a faixa de 900 MHz até 100 GHz (RECOMMENDATIONS, 2001) (RODRIGUES, 2011) (NAJNUDEL, 2004).

$$L = 20\log_{10}(f) + N\log_{10}(d) + L_f(K_f) - 28 \quad (7.3)$$

f : frequência de operação (MHz);

N : coeficiente de atenuação com a distância;

d : distância percorrida(m);

K_f : número de pisos (andares) atravessados;

L_f : coeficiente de atenuação por piso atravessado (dB).

As Tabela 7 e Tabela 8 apresentam o valores de N e L_f , respectivamente.

Tabela 7: Valores para o N

Frequência	Residência	Escritório	Comercial
900 MHz	-	33	20
1.2-1.3 GHz	-	32	22
1.8-2.0 GHz	28	30	22
4 GHz	-	28	22
5.2 GHz	-	31	-
60 GHz	-	22	17

Tabela 8: Valores para L_f

Frequência	Residência	Escritório	Comercial
900 MHz	-	9 (1 andar) 19 (2 andares) 24 (3 andares)	-
1.2-2.0 GHz	$4n$	$15 + 4(n - 1)$	$6 + 3(n - 1)$
5.2 GHz	-	16 (1 andar)	-

7.3 Propostas de modelos

Este trabalho tem duas propostas de modelos, um foi desenvolvido com o intuito de determinar a perda de propagação e o outro a perda de PSNR. Os dois modelos foram desenvolvidos através de campanhas de medições, tratamento de dados e planejamento de ambiente. Esses modelos atendem ambientes caracterizado como salas de aula e escritórios, com paredes de alvenaria com espessura de 12 centímetros, portas de madeira e janelas de vidro e sua composição interna é formada por cadeiras e mesas. Além do ambiente é importante citar que tais modelos foram desenvolvidos para trabalhar na faixa de frequência 5 Ghz, para melhor entendimento consultar o Capítulo 6.

7.3.1 Modelo de propagação para faixa de 5 GHz

Usando como base o modelo trabalhado em (LIMA, 2011) (CASTRO, 2014), o presente trabalho usa a Equação 7.4 como base.

$$L = K_1 \log_{10}(d) + k_2 \log_{10}(f) + k_p \quad (7.4)$$

Onde:

K_1 e K_2 : parâmetros obtidos por mínimos quadrados;

d: distância;

f: frequência (MHz);

k_p : fator de correção (perda por paredes).

7.3.1.1 Fator de perda por paredes (K_p)

O fator K_p está relacionado como a atenuação do sinal por influência de paredes em seu percurso. Para determinar este parâmetro foi desenvolvido uma estratégia citada no Capítulo 6, onde o objetivo é classificar dentro das medições as radiais com características iguais, essa classificação consiste em verificar a quantidade de paredes atravessadas pelo sinal. A Figura 12 apresenta a classificação das radiais.

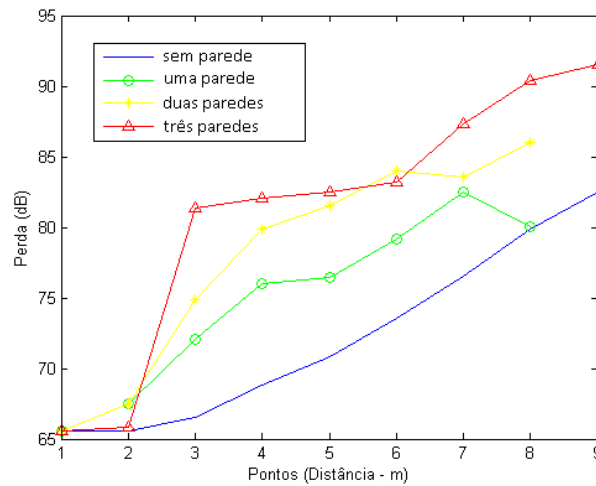


Figura 12: Classificação de radiais.

A Figura 12 apresenta a perda em relação aos pontos dentro da classificação dita anteriormente. A partir deste ponto foi obtida a média para cada tendência, resultando em 4 retas. Classificadas por paredes, a Figura 13 mostra as retas resultantes.

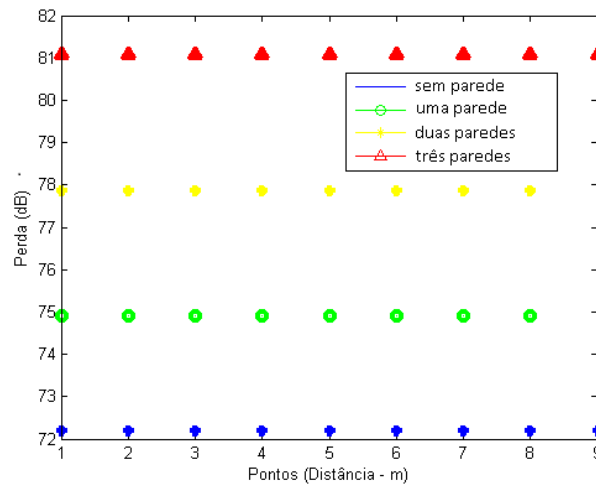


Figura 13: Classificação de radiais.

A Figura 13 apresenta a média resultante da classificação das radiais pelo número de paredes atravessadas. Para atribuir a perda quando se atravessa paredes, fez-se a perda relativa de cada média em relação a uma referência, a reta referente é a reta abaixo da qual se quer calcular, assim resultou em três perdas relativas, apresentadas nas Equação 7.5, Equação 7.6 e Equação 7.7:

$$Loss_{relative_1} = 1wall - nowall = 2,71 \quad (7.5)$$

$$Lossrelative_2 = 2walls - 1wall = 2,96 \quad (7.6)$$

$$Lossrelative_3 = 3walls - 2walls = 3,23 \quad (7.7)$$

Fazendo a média, temos a Equação 7.8:

$$loss_m = \frac{Lossrelative_1 + Lossrelative_2 + Lossrelative_3}{3} \cong 3 \quad (7.8)$$

Logo o fator K_p é composto por uma constante determinada ($loss_m$) e uma variável que determina o numero de paredes (np), assim a parte do modelo que define a perda por paredes é feita pela multiplicação entre as duas parcelas, observe a Equação 7.9.

$$K_p = loss_m * np \quad (7.9)$$

7.3.1.2 Mínimos quadrados lineares

A técnica de mínimos quadrados lineares é usada em várias áreas e tem resultados satisfatórios para processos de otimização (CASTRO, 2014) (YANG; SHI, 2008) (PAL-LARDÓ, 2008) (WALDEN; ROWSELL, 2005) (CHEN; HSIEH, 2006). Para o modelo de propagação proposto esta técnica é utilizada para ajustar parâmetros de acordo com os dados coletados. Essa técnica utiliza a minimização do somatório dos quadrados das diferenças entre os dados coletados e os dados simulados, conhecida como função objetivo, a Equação 7.10 apresenta esta técnica.

$$f_{obj} = \sum_{i=1}^N (L_i - Y_i)^2 \quad (7.10)$$

Onde:

L_i : Dados coletados;

Y_i : Dados simulados.

Para ajustar os parâmetros através dos mínimos quadrados lineares é feito derivadas parciais da função objetivo em relação aos parâmetros a, b, c e igualando-os a zero. As equações decorrentes do cálculo das derivadas parciais formam um sistema que resultará nos parâmetros a, b e c. Outra forma usada para representar a técnica de mínimos

quadrados é por noções matriciais, usada no trabalho. Aplicando as noções matriciais teremos a Equação 7.11.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & X_1 & X_1^2 \\ 1 & X_i & X_i^2 \end{bmatrix} x = \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} B = \begin{bmatrix} L_1 \\ L_i \end{bmatrix} \quad (7.11)$$

Utilizando a definição na Equação 7.11 a solução matricial usando mínimos quadrados é dado na Equação 7.12.

$$x = (A^T A)^{-1} A^T B \quad (7.12)$$

7.3.1.3 Ajuste do modelo

Com base no (CASTRO, 2010) é feito um ajuste nos parâmetros de acordo com a definição da Equação 7.4. O ajuste é usado para definir o resíduo da expressão com base na perda por paredes (K_p) e a perda pela frequência, visto na Equação 7.13.

$$R_L = L - K \quad (7.13)$$

Onde:

L: perda dos dados medidos em dB;

K: fator de perda por paredes e de frequência em dB;

R_i : vetor de resíduos.

Usando a forma matricial de mínimos quadrados na Equação 7.11 resulta na Equação 7.14.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & \log_{10}(X_1) \\ 1 & \log_{10}(X_i) \end{bmatrix} x = \begin{bmatrix} K_1 \\ K_2 \end{bmatrix} B = \begin{bmatrix} R_{L1} \\ R_{Li} \end{bmatrix} \quad (7.14)$$

O modelo proposto é a soma de todos os termos calculados (K_1 , K_2 e K_p) resultando na Equação 7.15.

$$L = -25,7363 + 10n \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f) + lm(np); \quad (7.15)$$

Onde:

L : perda em dB;

n : coeficiente de atenuação com a distância;

d : distância em metros;

lm : coeficiente de atenuação por paredes;

np : número de paredes atravessadas.

As Tabela 9 e Tabela 10 apresentam os valores de n e lm , respectivamente.

Tabela 9: Valor de n .

Frequência	Escritório/salas de aula
5.2 GHz	2,63

Tabela 10: Valor de lm .

Frequência	Escritório/salas de aula
5.2 GHz	3

7.3.2 Modelo cross-layer para a perda de PSNR para faixa de 5 GHz

O modelo proposto tem como referência os trabalhos (CASTRO, 2014) (YANG; SHI, 2008), que abordam um modelo matemático para representar perdas de propagação e obteve melhor eficiência que modelos propostos na literatura. Assim essa nova representação terá como foco as perdas de PSNR relacionados ao número de paredes, distância e potência. Esta modelagem tem como características inovadoras: o uso de vídeo em resolução 4K e o padrão IEEE 802.11ac para a transmissão deste vídeo. Este modelo foi desenvolvido com as mesmas características do ambiente citados no Capítulo 6.

Usando a metodologia para o modelo de propagação, foi feito um pré-estudo para entender o comportamento do *setup* de medição dentro do ambiente.

Nas campanhas de medições foi coletada a base de dados do comportamento das radiais referente a PSNR dentro do ambiente, estes dados possuem características de uma curva exponencial, sendo esta informação o ponto de partida para o desenvolvimento do modelo de perda de PSNR. A Equação 7.17 é a expressão base.

$$L_{PSNR} = A - Be^{\left(\frac{pr-limiar}{den}\right)} \quad (7.16)$$

Onde:

L_{PSNR} : perda de PSNR;

AeB : constantes definidas por mínimos quadrados;

pr : potência recebida em dB;

$limiar$: valor estipulado para ajuste de qualidade;

den : denominador de ajuste.

Usando a técnica dos mínimos quadrados para definir as constantes A e B, obteve-se o modelo resultante:

$$L_{PSNR} = 44,9212 - 43,2770e^{\left(\frac{pr - (-45)}{17}\right)} \quad (7.17)$$

7.4 Considerações finais

Uma breve abordagem de alguns modelos de propagação *indoor* usados neste trabalho a nível de comparação. Os modelos propostos usam algoritmos apresentados neste capítulo, para garantir a eficiência dos mesmos, além de aplicação destas técnicas em dados reais. O capítulo a seguir apresenta os resultados, metodologia adotada e ajustes referentes as modelagens.

8 Análise e resultados

8.1 Considerações Iniciais

Este capítulo apresenta os resultados referente aos modelos, levantamento de dados, comportamento dos dados, metodologia de classificação, comparação da potência recebida com a PSNR e valores de RMS, erro absoluto e desvio padrão para comparação de modelos.

8.2 Modelo de propagação

Definida a metodologia usada para o *setup* de medição e para a modelagem vistas no Capítulo 6 e na Seção 7.3 respectivamente. Este capítulo apresenta o desenvolvimento das etapas para o modelo de perda da propagação.

8.2.1 Análise e resultados

Em princípio foram feitas análises do comportamento da potência recebida dentro do ambiente. Para melhor analisar, fez-se uma classificação das radiais com o critério de paredes atravessadas pelo sinal, esta técnica foi desenvolvida no ambiente computacional usando o software MATLAB R2010b. O resultado desta classificação teve um comportamento logarítmico e é apresentado no decorrer deste trabalho.

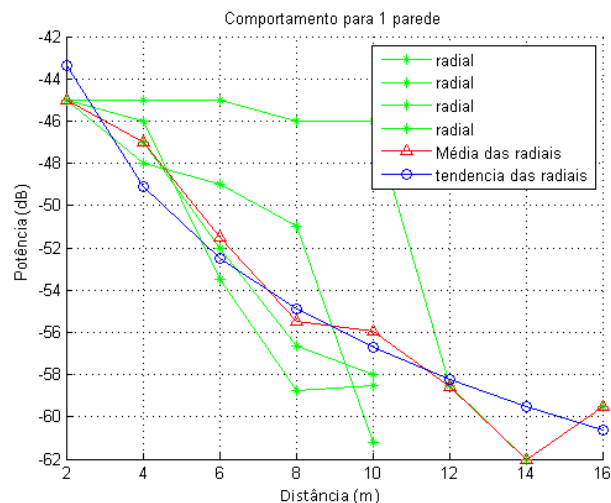


Figura 14: Comportamento dos dados medidos ultrapassando 1 parede.

Analisando a Figura 14, nota-se que existem radiais próximas e uma radial que foge do comportamento esperado, isto acontece pois a radial só encontra uma parede em 10 metros. Após o ponto onde há obstáculos a radial sofre uma queda na potência e acompanha a média das radiais. Além destas observações, viu-se que o comportamento das radiais possuíam uma tendência logarítmica visto em azul na Figura 14. Esta curva pode ser observada tanto pela média das radiais, representada em vermelho, quanto pelo próprio comportamento individual.

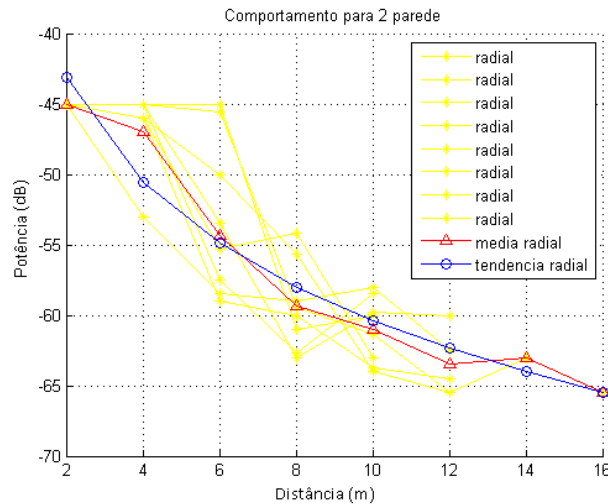


Figura 15: Comportamento dos dados medidos ultrapassando 2 paredes.

Na Figura 15 as radiais não tiveram um comportamento tão divergente por conta da similaridade entre os traçados em amarelo. Mostrando um comportamento logarítmico visto em azul no gráfico.

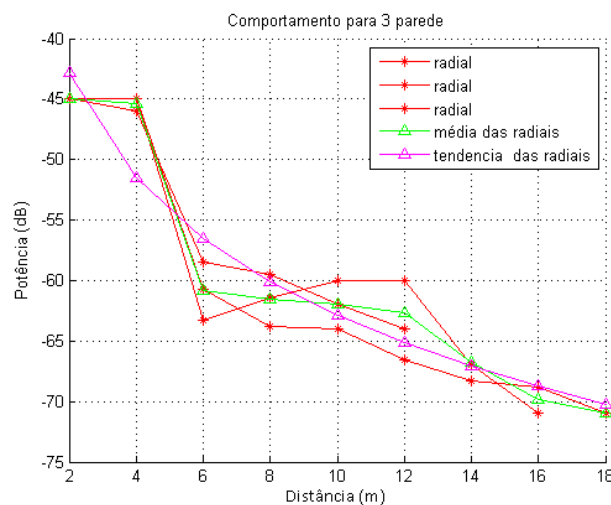


Figura 16: Comportamento dos dados medidos ultrapassando 3 paredes.

A Figura 16 representa as radiais que atravessam 3 paredes, nos pontos 2, 4 e 10

nota-se uma queda na potência recebida devido as paredes. Outro ponto importante é a potência recebida em 18 metros, chegando a -71 dB. Comparando a Figura 16 em relação as Figura 14 e Figura 15 em 16 metros nota-se uma potência é de aproximadamente -70 dB para a situação de três paredes, já para uma e duas paredes a potência fica na faixa de -59 a -65 db.

A partir dos dados de potência visto nas figuras 10, 11 e 12, foi medido a perda sobre à média das radiais.

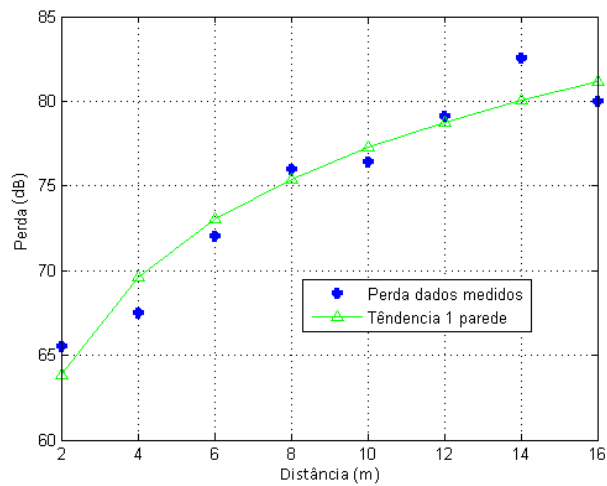


Figura 17: Comportamento e perda para 1 parede.

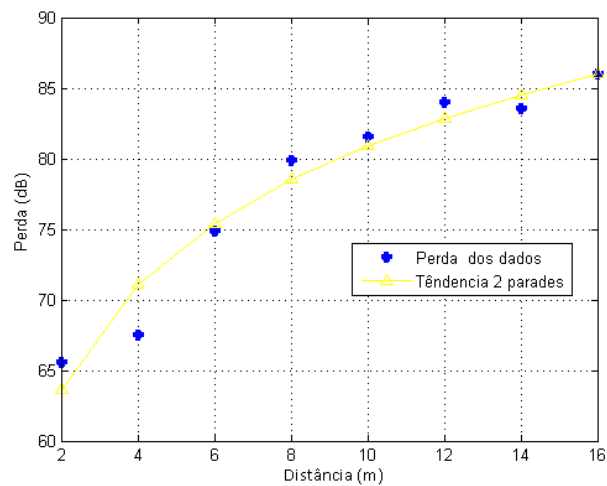


Figura 18: Comportamento e perda para 2 paredes.

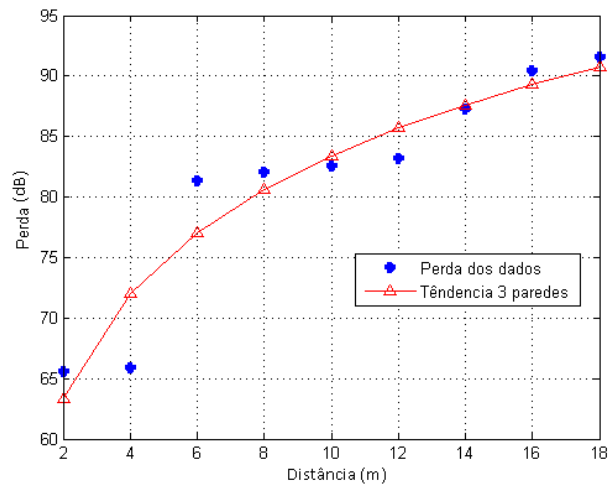


Figura 19: Comportamento e perda para 3 paredes.

As curvas vistas nas Figura 17, Figura 18 e Figura 19 apresentam tendência logarítmica de acordo com os dados medidos. A Figura 20 ilustra perda de propagação quanto a classificação através de paredes.

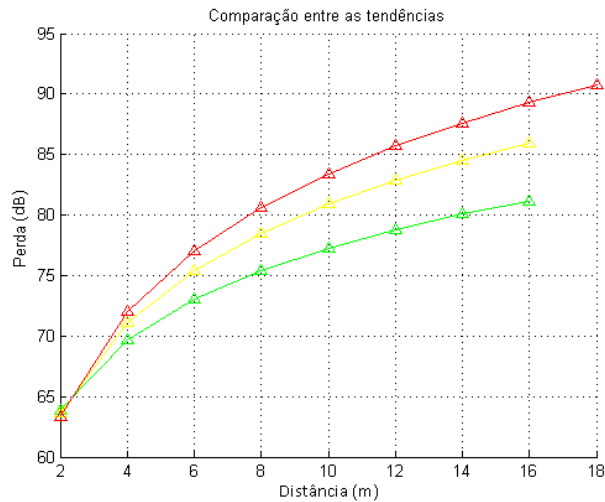


Figura 20: Comportamento da classificação.

A Figura 20 mostra o comportamento do sinal em relação a quantidade de paredes atravessadas, mostrando assim a perda do sinal de acordo com a configuração do ambiente. A maior perda entre as tendências é aproximadamente 5 dB entre uma parede (curva verde) e duas paredes (curva amarela), assim como a perda de aproximadamente 3 dB entre duas (curva amarela) e 3 paredes (curva vermelho).

A estratégia usada para manipular os dados e ajustar o fator Kp é apresentada em Figura 12. Usando esta metodologia a Figura 20 apresenta a tendência para as três

situações. Estes resultados foram usados para determinar o fator Kp do modelo proposto, sendo este responsável pela perda atravessadas por paredes, apresentado em Seção 7.3.

A composição do modelo consiste em somas de parcelas referentes a perda por paredes, perda com distância e perda por frequência. A Figura 21 apresenta o resíduo gerado pelo procedimento citado em Subsubseção 7.3.1.3, ou seja, valores referentes a K1 e K2.

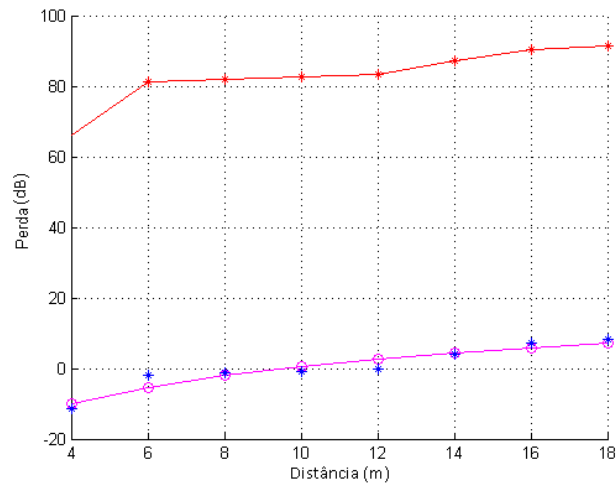


Figura 21: Análise residual.

A Figura 21 apresenta perda e a tendência do resíduo, a curva em vermelho apresenta a perda total e a curva em magenta representa o resíduo para determinar os valores de K1 e k2 através de regressão não-linear. O resultado do modelo é expresso graficamente com diferentes condições de ambientes, testado e comparado em situações onde atravessa 1, 2 e 3 paredes. Em todas as comparações o modelo proposto obteve um melhor desempenho em relação aos dados reais, obtidos através de medição. As Figura 22, Figura 23 e Figura 24 apresenta o desempenho destes ambientes.

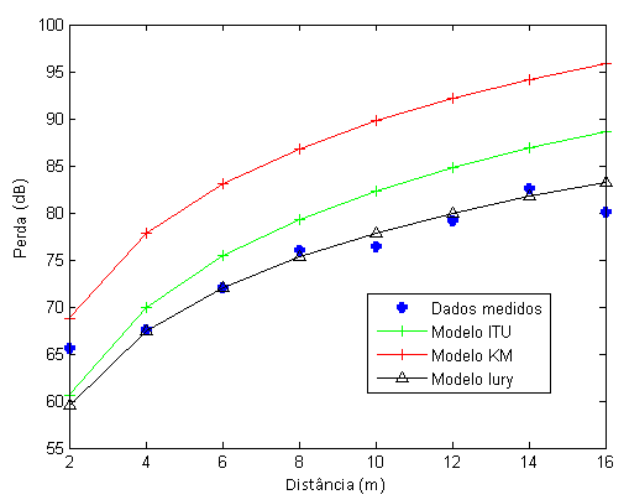


Figura 22: Comparação entre modelos para a travessia de 1 parede.

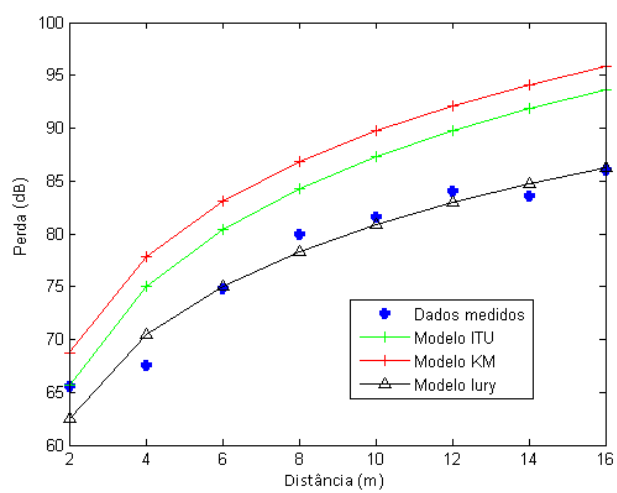


Figura 23: Comparação entre modelos para a travessia de 2 paredes.

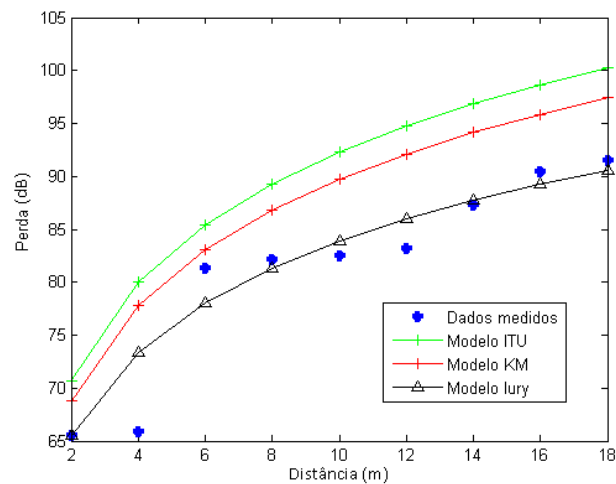


Figura 24: Comparação entre modelos para a travessia de 3 parede.

Os valores de erro absoluto, desvio padrão e RMS também apresentaram resultados satisfatórios em comparação com os demais modelos. Nota-se que o aumento do número de paredes é diretamente proporcional com erro absoluto e RMS, levando a uma imprecisão de todos os modelos. As Tabela 11 e Tabela 12 apresentam resultados referente a uma e duas paredes atravessadas e a Tabela 13 apresenta uma comparação para situação onde atravessa 3 paredes, pior caso, usando as métricas de comparação.

Tabela 11: Comparação entre modelos usando métricas de avaliação para 1 parede.

Modelos	RMS(dB)	Erro ABS(dB)	Desvio (dB)
ITU	5,14	4,81	3,93
Motley-Keenan	11,65	11,14	3,6
Modelo_proposto	2,51	1,64	2,67

Tabela 12: Comparação entre modelos usando métricas de avaliação para 2 paredes.

Modelos	RMS(dB)	Erro ABS(dB)	Desvio (dB)
ITU	6,13	5,63	2,58
Motley-Keenan	8,74	8,18	2,36
Modelo_proposto	1,69	1,36	1,8

Tabela 13: Comparação entre modelos usando métricas de avaliação para 3 paredes.

Modelos	RMS(dB)	Erro ABS(dB)	Desvio (dB)
ITU	9,2	8,7	3,08
Motley-Keenan	6,84	6,21	3,03
Modelo_proposto	2,99	2,03	3,09

8.3 Modelo cross-layer para a perda de qualidade de vídeo

Outra contribuição desta pesquisa, é desenvolver um modelo cross-layer para perda de PSNR, uma métrica pertencente ao QoE. Este modelo tem relevância, pois além de ser uma vertente carente revela a forma de como um vídeo de alta qualidade se comporta dentro da rede Wi-fi, já que este tipo média geralmente é o que mais estressa uma conexão. Em primeira instancia, os valores de PSNR são apresentados em conjunto com medidas de potência recebida, já que este modelo tem como parâmetro de entrada esta informação.

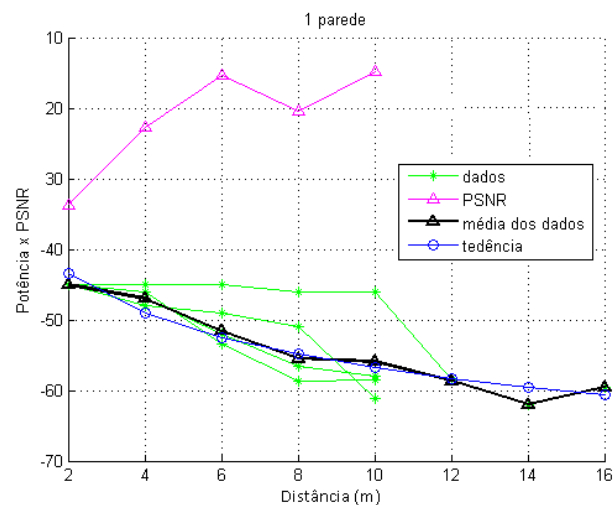


Figura 25: Resposta da PSNR referentes a valores de potência para 1 parede.

A Figura 25 apresenta o comportamento da PSNR de acordo com a potência recebida, algo importante notado em relação a estes dados é que quanto maior a potência recebida maior a PSNR e menor a perda de propagação, lembrando que PSNR é uma métrica voltado a qualidade de vídeos. A curva em magenta representa a PSNR, algo importante de se notar é a representação dos valores de PSNR pois para este caso, usando vídeos 4K, após a travessia da parede, em 4 metros, a qualidade do vídeo recebido tem perdas consideráveis.

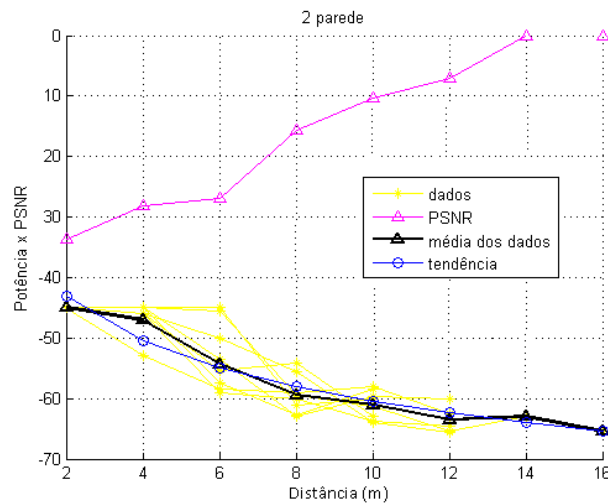


Figura 26: Resposta da PSNR com valores de potência para 2 parede.

A Figura 26 apresenta as curvas de potência e PSNR. Para esta situação nota-se que os valores de perda é mais amena nos primeiros pontos em relação ao gráfico para uma parede.

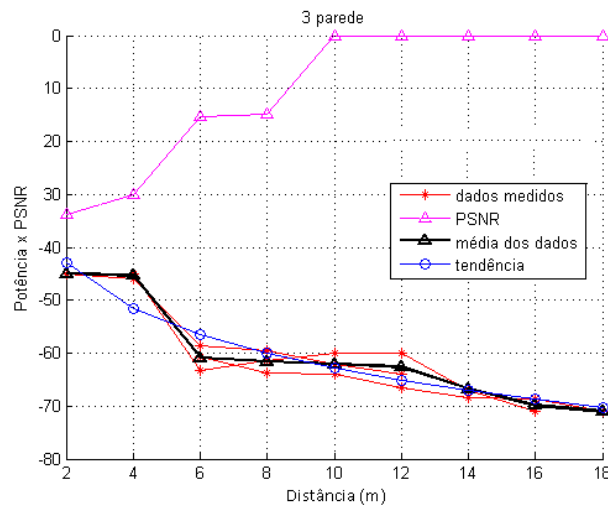


Figura 27: Resposta da PSNR com valores de potência para 3 parede.

A Figura 27 apresenta uma perda na PSNR mais sensível as paredes atravessadas em relação aos outros cenários, chegando a cem por cento de perda a partir de dez metros, ressaltando que a terceira parede encontra-se em 8 e 10 metros.

Os valores de PSNR tem melhor compreensão vistos através de uma imagem, no software MSU-VQMT fez-se uma comparação entre vídeos yuv-transmitido e yuv-processado, está técnica é de grande importância pois revela anomalias caracterizadas por perdas referentes ao canal. A Figura 28 apresenta o frame 91 extraído do arquivo YUV original e tem o valor de PSNR igual a 33,74 dB (sem perda).



Figura 28: frame 91 com PSNR 33,74 (dB).

A Figura 29 mostra o frame 91 extraído do YUV correspondente ao vídeo reconstruído após a transmissão, o qual tem valor de PSNR igual a 15 dB. Percebe-se uma notável perda de qualidade no vídeo, principalmente na região onde há movimento (nos corredores).



Figura 29: frame 91 com PSNR 15 (dB).

A Figura 30 apresenta o frame 91 com PSNR 11, esta imagem tem maior perda e dificuldade para interpretar a informação.



Figura 30: frame 91 com PSNR 11 (dB).

Com foco em modelagem e na metodologia citada Seção 8.3, fez-se uma representação dos dados já classificados de acordo com a quantidade de paredes atravessadas nos pontos medidos, a Figura 31 apresenta o comportamento da perda de PSNR ao atravessar paredes.

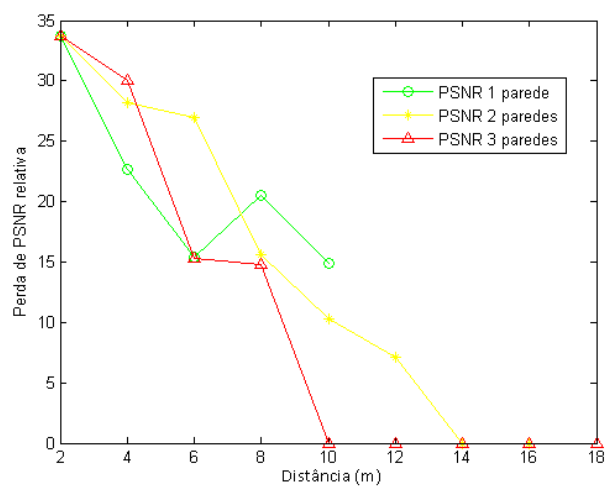


Figura 31: Perda de PSNR dentro do ambiente.

Os resultados para o modelo são apresentados na Figura 32, apresentam valores medidos e a curva do modelo apresentado por uma exponencial.

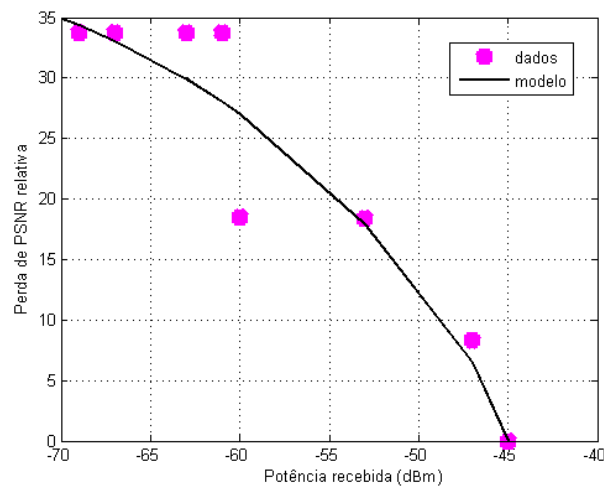


Figura 32: Modelo Cross-layer para perda de qualidade de vídeo.

Observando a Figura 32 mostra que o modelo teve uma certa precisão, apesar de alguns pontos estarem dispersos. A Tabela 14 apresenta valores de erro absoluto, RMS e desvio padrão para o modelo cross-layer.

Tabela 14: Métricas de avaliação

Modelos	RMS(dB)	Erro ABS(dB)	Desvio(dB)
Modelo proposto	3,75	2,61	3,98

8.4 Mapa de cobertura e contorno para modelo de perda de propagação

Para apresentar o comportamento do modelo proposto de perda de propagação, é feito uma simulação no Matlab para visualizar o comportamento das ondas eletromagnéticas dentro do ambiente, o resultado desta simulação esta presente na Figura 33 referente ao mapa de contorno e na Figura 34 para mapa de calor.

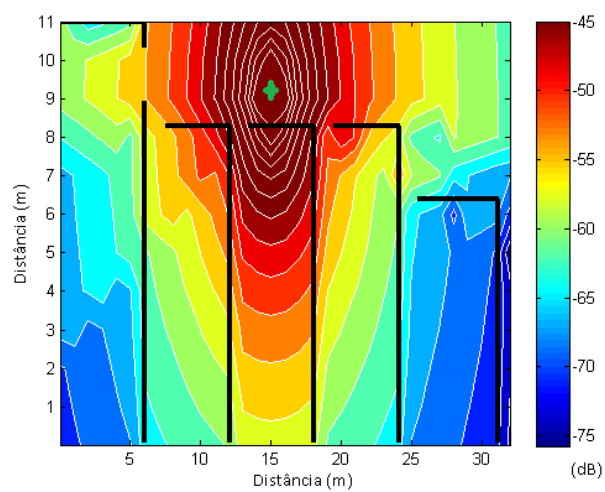


Figura 33: Mapa de contorno para o modelo de perda.

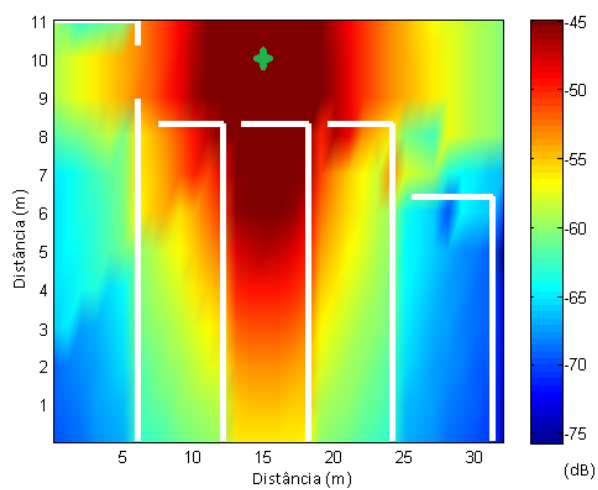


Figura 34: Mapa de calor para o modelo de perda.

Para ter uma maior área de cobertura, é feito uma simulação com o modelo da perda de propagação usando dois pontos de acesso. Os resultados são vistos nas Figura 35 e Figura 36.

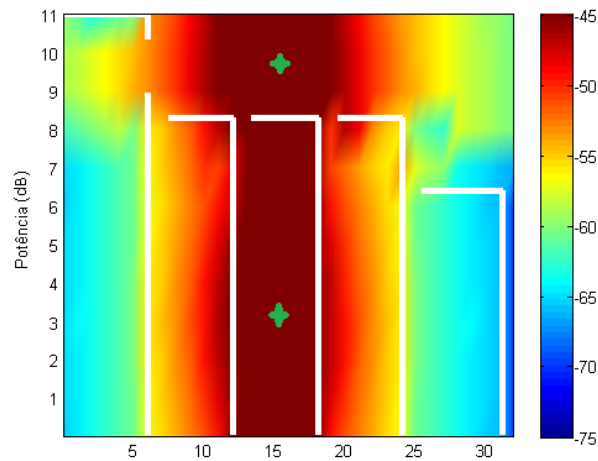


Figura 35: Mapa de calor para o modelo de perda com dois roteador.

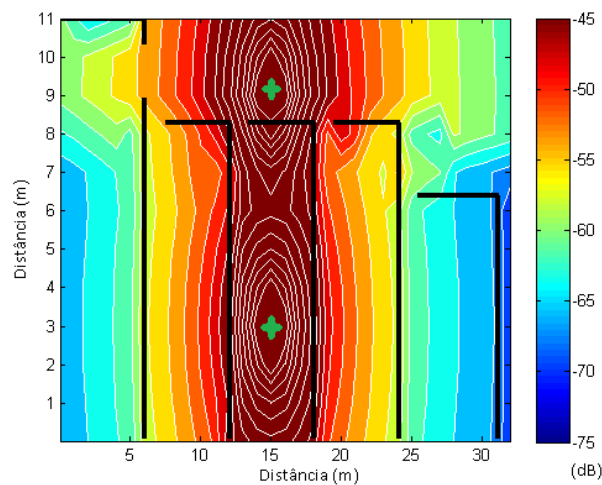


Figura 36: Mapa de contorno para o modelo de perda com dois roteadores.

Os modelos empíricos possuem esta facilidade de implementação, podendo ser simulado em qualquer ambiente suportado pelo modelo proposto, exigindo pouco tempo de execução e uma aproximação do comportamento das ondas eletromagnéticas.

8.5 Mapa de cobertura e contorno para modelo cross-layer

Assim como o modelo de propagação o modelo cross-layer possui facilidades para realizar simulação e exige pouco tempo de execução. As Figura 37 e Figura 38 apresentam

a simulação.

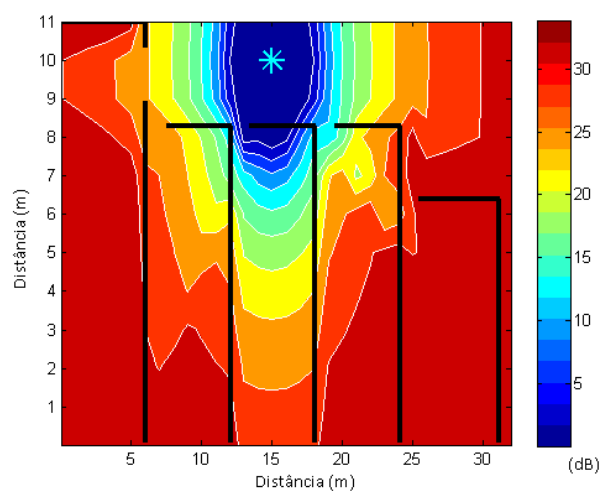


Figura 37: Mapa de contorno para o modelo cross-layer.

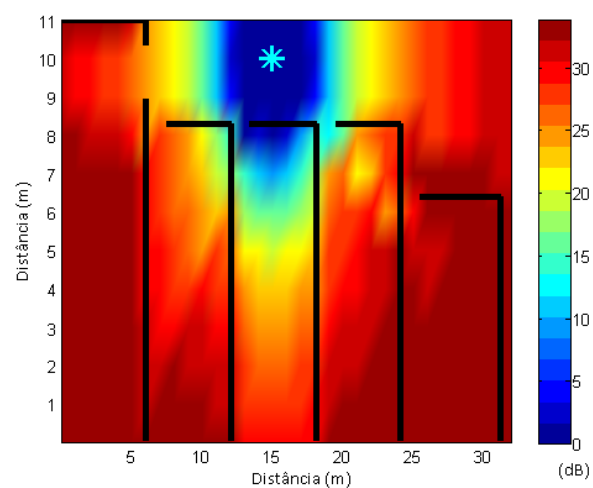


Figura 38: Mapa de calor para o modelo cross-layer.

8.6 Conclusão

Este trabalho tem como foco duas diretrizes, a primeira é elaborar modelo para perda de propagação. O segundo é um modelo cross-layer para perda na qualidade de vídeo usando a métrica PSNR. Esses modelos tiveram enfoque na tecnologia IEEE 802.11ac na faixa de 5 GHz e vídeos com resolução em 4K aplicados em ambientes *indoor*. A metodologia aplicada para a formulação dos modelos utilizou classificação através de paredes atravessadas e visada direta entre o transmissor e receptor, a distribuição dos pontos em forma de radiais dentro do ambiente estudado e a utilização de regressão linear para determinar os fatores da Equação 7.4.

O modelo de perda de propagação teve resultados satisfatórios em comparação com os modelos ITU e Keenan-Motley para as métricas RMS, erro absoluto e desvio padrão relacionado aos dados medidos. Os modelos usados para fins de comparação tiveram RMS acima de 6,5 dB erro absoluto acima de 6,2 dB e desvios na faixa de 3 dB, o modelo proposto teve 2,99 dB para RMS, 2,03 dB para erro absoluto e 3 dB de desvio de acordo com a Tabela 13.

O modelo para perda de PSNR também obteve resultados admissíveis principalmente no erro absoluto, com valor de 2,61 dB e com 3,75 dB de RMS e 3,9 dB de desvio padrão, de acordo com a Tabela 13. Vale ressaltar que os vídeos usados neste trabalho são bem sensíveis ao meio, pois usam mais largura de banda, trabalham melhor com modulação QAM-256, levando instabilidade nos dados medidos.

Para trabalhos futuros, é previsto especificar os tipos de paredes atravessadas, adicionar a perda por andar e aumentar a faixa de frequência para modelo de perda. O modelo de perda em PSNR visa adicionar perdas relacionadas a paredes e distância de forma separada, igual vista nos modelos de perda de propagação. É previsto adicionar o tráfego concorrente nas transmissões para modelar este tipo de perda dentro do modelo de propagação e perda de PSNR.

Referências

- ARAÚJO, J. P. L. d. Estratégia do planejamento e otimização de sistemas sem fio, considerando redes interferentes: abordagem baseada em cross-layer. 2011. 2011. Citado 4 vezes nas páginas 6, 7, 8 e 15.
- BAE, S.-H. et al. Assessments of subjective video quality on hevc-encoded 4k-uhd video for beyond-hdtv broadcasting services. *Broadcasting, IEEE Transactions on*, 2013. IEEE, v. 59, n. 2, p. 209–222, 2013. Citado na página 2.
- BARROS, C. F. S. D. R. M. T. Avaliação do ganho de qualidade de vídeos transmitidos com codificação de canal. In: *VII Connepi*. [S.l.: s.n.], 2012. Citado na página 2.
- BRAGA, A. D. S. *Planejamento de Redes de Comunicação Sem Fio Para Ambientes Indoor Considerando Aplicações Multimídia: Abordagem Híbrida - Simulação e Medição*. Dissertação (Dissertação de Mestrado) — Universidade Federal do Pará, 2014. Citado na página 16.
- CASTRO, B. S. L. Modelo de propagação para redes sem fio fixas na banda de 5, 8 ghz em cidades típicas da região amazônica. 2010. 2010. Citado na página 32.
- CASTRO, B. S. L. *Modelagem Cross-Layer da qualidade de experiência para transmissões de vídeo em sistemas sem fio OFDM*. Dissertação (Tese) — Universidade Federal do Pará, 2014. Citado 3 vezes nas páginas 29, 31 e 33.
- CHEN, Y.-H.; HSIEH, K. A dual least-square approach of tuning optimal propagation model for existing 3g radio network. In: IEEE. *Vehicular Technology Conference, 2006. VTC 2006-Spring. IEEE 63rd*. [S.l.], 2006. v. 6, p. 2942–2946. Citado na página 31.
- CHENG, R.-S. *Performance evaluation of stream control transport protocol over IEEE 802.11ac networks*. 2015. 97–102 p. Wireless Communications and Networking Conference Workshops (WCNCW), 2015 IEEE. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=7122536>>. Citado na página 2.
- COMMITTEE, L. S. et al. Part 11: Wireless lan medium access control (mac) and physical layer (phy) specifications. *IEEE-SA Standards Board*, 2003. 2003. Citado na página 9.
- DIANU, M.-D.; RIIHIJARVI, J.; PETROVA, M. *Measurement-based study of the performance of IEEE 802.11ac in an indoor environment*. 2014. 5771–5776 p. Communications (ICC), 2014 IEEE International Conference on. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=6884242>>. Citado na página 2.
- FILHO, M. P. d. C. et al. Análise do desempenho de wlan com a implementação dos protocolos de segurança wep e wpa/tkip. 2008. Pontifícia Universidade Católica de Campinas, 2008. Citado 3 vezes nas páginas 5, 6 e 8.

- GREENGRASS, J.; EVANS, J.; BEGEN, A. C. Not all packets are equal, part 2: The impact of network packet loss on video quality. *Internet Computing, IEEE*, 2009. IEEE, v. 13, n. 2, p. 74–82, 2009. Citado 2 vezes nas páginas 14 e 18.
- HU, Z. et al. Modeling the txop sharing mechanism of iee 802.11 ac enhanced distributed channel access in non-saturated conditions. *Communications Letters, IEEE*, 2015. IEEE, v. 19, n. 9, p. 1576–1579, 2015. Citado na página 2.
- JUNIOR, H. C. Sistema de transmissão no padrão brasileiro de tv digital. *Departamento de Ingeniería de Telecomunicaciones, Universidad Federal Fluminense*, 2008. 2008. Citado na página 15.
- LIMA, B. W. M. Análise de propagação de ondas eletromagnéticas em ambiente indoor: modelo do caminho dominante versus traçado de raios e fdtd. 2011. 2011. Citado na página 29.
- MACHADO, W. L. Simulação da camada física do protocolo iee 802.11 ac utilizando a ferramenta matlab. Citado na página 9.
- MENDES, L. *Algumas Análises de soluções Cross-Layer para redes TCP/IP sem Fio*. Dissertação (Mestrado) — Instituto Nacional de Telecomunicações, 2011. Citado 2 vezes nas páginas 1 e 18.
- NAJNUDEL, M. *Estudo de propagação em ambientes fechados para o planejamento de WLANs*. Tese (Doutorado) — PUC-Rio, 2004. Citado 3 vezes nas páginas 26, 27 e 28.
- OLIVEIRA, R. d. S. Predição de qualidade de experiência em redes wimax em aplicações de vídeo baseada em aspectos de qualidade de serviço. 2011. 2011. Citado 3 vezes nas páginas 1, 14 e 16.
- PALLARDÓ, G. R. On dvb-h radio frequency planning: Adjustment of a propagation model through measurement campaign results. *Master's Thesis, Department of technology and Built Environment, University of Gävle, Sweden*, 2008. 2008. Citado na página 31.
- RECOMMENDATIONS, I. Propagation data and prediction methods for the planning of indoor radiocommunication systems and radio local area networks in the frequency range 900mhz to 100ghz. *ITU Recommendations*, 2001. 2001. Citado na página 28.
- RODRIGUES, J. d. C. Planejamento de redes de comunicação sem fio para ambiente indoor considerando os efeitos da polarização das antenas: abordagem baseada em medições. 2011. 2011. Citado 2 vezes nas páginas 26 e 28.
- SANTANA, A. V. de; ROCHA, C. de S. Cinema 4k: Novos desafios criativos. In: *Proceedings of World Congress on Communication and Arts*. [S.l.: s.n.], 2014. v. 7, p. 110–114. Citado 2 vezes nas páginas 11 e 12.
- SHAH, Z.; RAU, S.; BAIG, A. *Throughput comparison of IEEE 802.11ac and IEEE 802.11n in an indoor environment with interference*. 2015. 196–201 p. Telecommunication Networks and Applications Conference (ITNAC), 2015 International. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=7366812>>. Citado na página 3.

- SRIVASTAVA, V.; MOTANI, M. Cross-layer design: a survey and the road ahead. *IEEE Communications Magazine*, 2005. v. 43, n. 12, p. 112–119, 2005. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=1561928>>. Citado na página 17.
- TANENBAUM, A. S. *Computer networks, 4-th edition*. [S.l.: s.n.], 2003. Citado 3 vezes nas páginas 5, 6 e 8.
- TANENBAUM, A. S. *Computer Networks-Vrije Universiteit Amsterdam, The Netherlands*. [S.l.]: Pearson Education Inc., Prentice Hall PTR, New Jersey, 2003. Citado na página 17.
- WALDEN, M. C.; ROWSELL, F. J. Urban propagation measurements and statistical path loss model at 3.5 ghz. In: IEEE. *Antennas and Propagation Society International Symposium, 2005 IEEE*. [S.l.], 2005. v. 1, p. 363–366. Citado na página 31.
- WINKLER, S.; MOHANDAS, P. The evolution of video quality measurement: from psnr to hybrid metrics. *Broadcasting, IEEE Transactions on*, 2008. IEEE, v. 54, n. 3, p. 660–668, 2008. Citado 2 vezes nas páginas 2 e 15.
- YANG, M.; SHI, W. A linear least square method of propagation model tuning for 3g radio network planning. In: IEEE. *Natural Computation, 2008. ICNC'08. Fourth International Conference on*. [S.l.], 2008. v. 5, p. 150–154. Citado 2 vezes nas páginas 31 e 33.