

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

ANDRÉ AUGUSTO PACHECO DE CARVALHO

**MÉTRICAS DE *QOE/QOS* DE VÍDEO EM REDES SEM FIO PARA AUXÍLIO
AO PLANEJAMENTO DE AMBIENTES *INDOOR* UTILIZANDO UMA
ABORDAGEM BAYESIANA.**

DM: 17/2015

UFPA / ITEC / PPGEE
Campus Universitário do Guamá
Belém – Pará – Brasil
2015

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

ANDRÉ AUGUSTO PACHECO DE CARVALHO

**MÉTRICAS DE *QOE/QOS* DE VÍDEO EM REDES SEM FIO PARA AUXÍLIO
AO PLANEJAMENTO DE AMBIENTES *INDOOR* UTILIZANDO UMA
ABORDAGEM BAYESIANA.**

DM: 17/2015

UFPA / ITEC / PPGEE
Campus Universitário do Guamá
Belém – Pará – Brasil
2015

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

ANDRÉ AUGUSTO PACHECO DE CARVALHO

**MÉTRICAS DE *QOE/QOS* DE VÍDEO EM REDES SEM FIO PARA AUXÍLIO
AO PLANEJAMENTO DE AMBIENTES *INDOOR* UTILIZANDO UMA
ABORDAGEM BAYESIANA.**

Dissertação de mestrado submetida à Banca Examinadora do Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica como quesito a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Elétrica, com ênfase em Computação Aplicada.

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

2015

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

Carvalho, André Augusto Pacheco de, 1985-
Métricas de qoe/qos de vídeo em redes sem fio para
auxílio ao planejamento de ambientes indoor utilizando
uma abordagem bayesiana. / André Augusto Pacheco de
Carvalho. - 2015.

Orientador: Gervásio Protsio dos Santos
Cavalcante.

Dissertação (Mestrado) - Universidade
Federal do Pará, Instituto de Tecnologia,
Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Elétrica, Belém, 2015.

1. sistemas de comunicação móveis. 2. Redes
locais sem fio - medição. 3. dispositivos de
redes sem fio. 4. Teoria bayesiana de decisão
estatística. I. Título.

CDD 22. ed. 621.38456

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

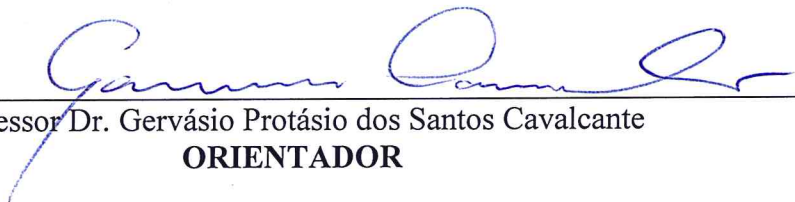
**MÉTRICAS DE *QOE/QOS* DE VÍDEO EM REDES SEM FIO PARA AUXÍLIO
AO PLANEJAMENTO DE AMBIENTES *INDOOR* UTILIZANDO UMA
ABORDAGEM BAYESIANA.**

AUTOR: ANDRE AUGUSTO PACHECO DE CARVALHO.

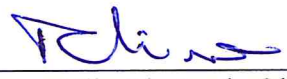
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA À AVALIAÇÃO DA BANCA EXAMINADORA APROVADA PELO COLEGIADO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ E JULGADA ADEQUADA PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA ELÉTRICA COM ÊNFASE EM COMPUTAÇÃO APLICADA.

APROVADA EM: 30/03/2015

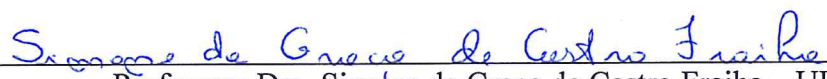
BANCA EXAMINADORA:



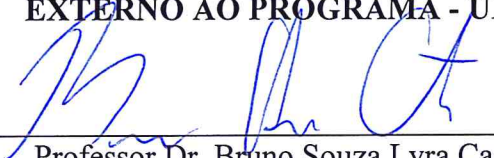
Professor Dr. Gervásio Protásio dos Santos Cavalcante
ORIENTADOR



Professor Dr. Roberto Célio Limão de Oliveira – UFPA
MEMBRO – PPGEE

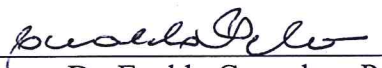


Professora Dra. Simone da Graça de Castro Fraiha – UFPA
EXTERNO AO PROGRAMA - UFPA



Professor Dr. Bruno Souza Lyra Castro
EXTERNO AO PROGRAMA - UFPA

VISTO:



Professor Dr. Evaldo Gonçalves Pelaes
COORDENADOR DO PPGEE /ITEC/UFPA

Honrar Pai e Mãe.

Êxodo 10:12

Em memória de Benedito Pedro de Carvalho.

AGRADECIMENTOS

Antes de tudo, tenho que agradecer a Deus pela minha saúde e proporcionar o alcance de todos os objetivos traçados, e dedicar este sucesso profissional a memória do meu querido avô falecido, Benedito Pedro de Carvalho, que com sua sabedoria, humildade e dedicação orientou a sua família até o último dia em vida.

Gostaria de agradecer em especial a meus pais José Ricardo e Carmen Lúcia, e familiares que de forma direta e indireta incentivaram a concluir este curso tão almejado profissionalmente, quanto intelectualmente.

Aos meus avós Osmarina Carvalho, Lúcia e Manoel Pacheco, que mesmo sem conhecimento formal, sempre aconselhando, mostrando que na vida existe apenas uma coisa que nós levamos para o caixão: O Conhecimento, e que sem Deus não somos ninguém.

A minha esposa Larissa Nobre, que abdicou de vários lazeres pessoais para ficar em casa assistindo TV, enquanto eu ficava no quarto estudando, mergulhado nos livros e por muitas vezes me deixou na casa de colegas de sala de aula para poder estudar; ou até quando esperava até tarde da noite para me buscar na universidade.

Ao meu professor orientador Gervásio Cavalcante que me aceitou, acreditou no potencial que existia no meu discurso e me orientou nessa caminhada árdua de estudos, pois sem ele eu não poderia obter este título de mestre.

A todos do LCT (Laboratório de Computação e Telecomunicações) da UFPA (Universidade Federal do Pará), que me aceitaram no grupo de trabalho e me deram base para estudar e que hoje se tornaram amigos, Allan Costa, Allan Braga, Ramz Lopes, João Victor, Nelsom Mateus, Diego Kazuo, Iury Batalha e Miercio Neto.

A todos os profissionais do programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Pará.

E por fim, porém não menos importantes os professores Bruno Lyra, Jasmine Araujo, Simone Fraiha e Hermínio Gomes que por muitas vezes compartilharam suas experiências e conhecimento para as campanhas de medições e confecção dos resultados alcançados neste trabalho.

RESUMO

A evolução das aplicações em redes sem fio tem crescido nos últimos anos, devido ao aumento do número de usuários de *smartphone*, *tablets* e outros. A disponibilidade de serviços exigentes, como a transmissão de vídeo, afeta a Qualidade de Experiência (*QoE*) e Qualidade de Serviço (*QoS*) provida aos usuários domésticos e comerciais, isto tem estimulado ao estudo de novas técnicas de gerência de recursos de redes, tendo como objetivo proporcionar serviços com qualidade a um cliente cada vez mais exigente. Essa dissertação apresenta uma metodologia de Inteligência Artificial, utilizando uma Rede Bayesiana, com uma estratégia híbrida de avaliação analisando o comportamento de métricas de *QoE* e *QoS*, no projeto de redes locais sem fio. Para isto houve a necessidade da realização de campanhas de medições, para a geração de uma base de medidas reais, e com o artifício da simulação utilizando uma *Radial Base Function* (RBF), realizou-se a extensão dos dados, para que tivesse o volume de dados ideal para inserção na Rede Bayesiana. A diversidade do local de medições escolhido, composto de materiais como: tijolo, vidros, madeiras e concreto. Foi necessário realizar previamente um mapeamento de todos os pontos a serem medidos, posicionando propositalmente antes e depois de cada barreira ultrapassada pelo sinal. As Métricas como nível de sinal *Receiver Signal Strength Intensity* (RSSI), *Jitter*, atraso fim a fim da rede durante a transmissão do vídeo, *PeakSignal-to-NoiseRatio* (PSNR) e *Structural Similarity* (SSIM) foram coletadas durante as medições realizadas. E utilizando a Rede Bayesiana foram feitas inferências para cada métrica e foi possível encontrar resultados satisfatórios para que a solução proposta auxilie o planejamento de redes sem fio em ambientes *indoor*. Possibilitando demonstrar que até 10 metros de distância do transmissor, o sinal tem sua melhor potência, e a métrica de atraso fim a fim tem mais de 65% de probabilidade de esta na menor faixa de atraso e acompanhando este ótimo desempenho o *Jitter* tem mais de 65% de probabilidade de esta na menor faixa. E as métricas de *QoE*, PSNR e SSIM possuem um comportamento similar e tem mais de 80% de probabilidade de obter seu maior valor, e consequentemente o vídeo tem a sua melhor qualidade de recepção. Resultados estes demonstram que não exclui a possibilidade do uso desta proposta em outras situações.

Palavras-chave – QoE/QoS, medições, simulação, redes bayesianas, redes sem fio.

ABSTRACT

The evolution of applications on wireless networks has grown in recent years, due to the increased number of smartphone users, tablets and others. The availability of demanding services such as video transmission, affects Quality Experience (QoE) and Quality of Service (QoS) provided to domestic users and trade, this had stimulated the study of new resource management techniques networks, aiming to provide quality services to a customer each increasingly demanding. This thesis presents a methodology Intelligence Artificial using a Bayesian network with a hybrid evaluation strategy analyzing the behavior metrics QoE and QoS in the LAN network design wireless. The diversity of the place of Measurements chosen compound materials such as brick, glass, wood and concrete. It was necessary first to map all the points to be measured before and after deliberately placing each barrier outdated the signal. Metrics as level Receiver Signal Strength Intensity signal (RSSI) Jitter, delay end to end network for the video transmission, PeakSignal-to-NoiseRatio (PSNR) and Structural Similarity (SSIM) were collected during the Measurements. And using the Bayesian Network inferences were made for each metric and could not find satisfactory results for the proposed solution assist the wireless network planning in indoor environments. Enabling demonstrate that up to 10 meters away from the transmitter, the signal has its best power, and delay metrics in order to have more than 65% probability that the lower delay range and following this optimum performance the Jitter has more than 65% probability in this lower range. And the QE metrics, PSRN and SSIM have a similar behavior and has more than 80% probability of getting your greater value, and consequently the video has its best reception. These results show that does not preclude the use of this proposal in other situations.

Keywords - QoE / QoS, measurement, simulation, Bayesian networks, wireless networks.

LISTA DE FIGURA

Figura 1 - Planta de um Prédio Medido[3]	19
Figura 2 - Planta de Medições prédio[5]	20
Figura 3 - Planta Medições Prédio [7]	21
Figura 4 - Representação de Nó e Arco	28
Figura 5 - Representação de Dependência em Redes Bayesianas	29
Figura 6 - Representação de Inferências de Redes Bayesianas	30
Figura 7 - Rede Bayesiana	32
Figura 8 - Referência de Nível de Sinal RSSI	36
Figura 9 - Referência de Nível de PSNR	37
Figura 10 - Nível de Qualidade Jitter	38
Figura 11 - Nível de Qualidade SSIM	39
Figura 12 - Representação rede	40
Figura 13 - Fluxo de Metodologia	41
Figura 14 - Computadores dispostos na Sala 1	47
Figura 15 - Representação da transmissão	48
Figura 16 - Composição dentro e fora do Prédio	49
Figura 17 - Vídeo Original	50
Figura 18 - Vídeo com ruído	51
Figura 19 - Pontos a serem medidos inicial	52
Figura 20 - Pontos medidos	53
Figura 21 - Representação da gráfica da extensão dos dados	54
Figura 22 - Telas do WirelessMon	55
Figura 23 - Tela Bayesware	56
Figura 24 - Probabilidades Inicial Baseada em Distância	59
Figura 25 - Probabilidades Baseada PSNR	60
Figura 26 - Mapa de Calor Métrica SSIM	61
Figura 27 - Mapa de Calor Métrica de Atraso	62
Figura 28 - Mapa de Calor Métrica de Jitter	63
Figura 29 - Mapa de Calor Métrica de PSNR	64
Figura 30 - Mapa de Calor Métrica de RSSI	65

LISTA DE SIGLAS

3G	- Terceira Geração
4G	- Quarta Geração
GB	- GigaByte
HD	- Hard Disk
IA	- Inteligência Artificial
ICMP	- Internet Control Message Protocol
IEEE	- Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos
IP	- Internet Protocol
ISSO	- Organização Internacional para Padronização
MB	- MegaBytes
MD	- Mineração de Dados
MEB	- <i>Multi-Entity Bayesian Networks</i>
MPEG	- Moving Picture Experts Group
PA	- Ponto de Acesso
PING	- Packet Internet Grouper
PSNR	- Peak signal-to-noise ratio
QoE	- Qualidade de Experiência
QoS	- Qualidade de Serviço
RAM	- Random Access Memory
RBF	- Radial Base Function
RSSI	- Received Signal Strength Indication
SSIM	- Structural Similarity
UDP	- User Datagram Protocol
UFPA	- Universidade Federal do Pará
VoIP	- Voice over Internet Protocol
WLAN	- Wireless Local Area Network

SUMÁRIO

CAPITULO 1 – INTRODUÇÃO.....	12
1.1 MOTIVAÇÃO.....	13
1.2 OBJETIVOS	15
1.2.1 Objetivo Geral	15
1.2.2 Objetivo Específico.....	15
1.3 CONTIBUIÇÕES DA DISSERTAÇÃO.....	16
1.4 ORGANIZAÇÃO.....	16
CAPITULO 2 – TRABALHOS CORRELATOS.....	18
2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	18
2.2 ESTUDO DA ARTE	18
2.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS	24
CAPITULO 3 – REDE BAYESIANA.....	25
3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	25
3.2 DEFINIÇÃO DE REDE BAYESIANA.....	25
3.2.1 Inferência em Redes Bayesianas.....	28
3.3 CRIAÇÃO DE UMA REDE BAYESIANA	29
3.4 REPRESENTAÇÕES DA REDE BAYESIANA	30
3.5 ALGORITMOS DE APRENDIZAGEM	32
3.5.1 Algoritmo K2.....	32
3.5.2 Algoritmo CDL.....	33
3.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	33
CAPITULO 4 – METRICAS DE QOS E QOE	34
4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	34
4.2 MÉTRICA DE QOS: RSSI.....	34
4.3 MÉTRICA DE QOE: PSNR.....	35
4.4 MÉTRICA DE QOS: JITTER	36
4.5 MÉTRICA DE QOE: SSIM	37
4.6 MÉTRICA DE QOS: ATRASO FIM A FIM.....	38
4.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	39
CAPITULO 5 – METODOLOGIA.....	40
5.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	40
5.2 PROBLEMA.....	41

5.3	BANCO DE DADOS DE MEDIDAS.....	41
5.4	GERAÇÃO DA REDE BAYESIANA.....	42
5.5	DIAGNÓSTICO	43
5.6	CARACTERIZAÇÃO DE TRÁFEGO	43
5.7	PROPOSTA DE SOLUÇÃO.....	44
5.8	CONSIDERAÇÕES FINAIS	44
CAPITULO 6 – CAMPANHA DE MEDIÇÕES		45
6.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	45
6.2	EQUIPAMENTOS E FERRAMENTAS UTILIZADAS.....	45
6.2.1	Evalvid	46
6.3	CAMPANHA DE MEDIÇÕES.....	48
6.3.1	Composição do Prédio	48
6.3.2	Calculo da Largura de Banda.....	48
6.3.3	Vídeo Transmitido	49
6.3.4	Cenário de Medições.....	50
6.4	IPERF	53
6.5	WIRELESSMON	54
6.6	BAYESWARE	54
6.7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	55
CAPITULO 7 – RESULTADOS		57
7.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	57
7.2	INFERÊNCIAS DAS VARIÁVEIS.....	57
7.3	RESULTADOS OBTIDOS	59
7.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	64
CAPITULO 8 – CONCLUSÃO.....		66
TRABALHOS FUTUROS		68
REFERENCIAS.....		69

CAPITULO 1 – INTRODUÇÃO

A rede sem fio é uma tecnologia que se popularizou devido à evolução tecnológica atual, tanto pela facilidade da compra do equipamento, quanto para o acompanhamento da velocidade oferecida pelas empresas de acesso à banda larga. Com a chegada da banda larga para os usuários domésticos aliado com a facilidade na aquisição de *notebooks*, houve um aumento na procura de equipamentos para a criação de redes sem fio por conta dos próprios usuários, sem a consulta prévia a profissionais especialistas.

Por este motivo, é cada vez mais fácil encontrar equipamentos disponíveis no mercado para a criação de uma rede sem fio tanto nas residências, quanto em estabelecimentos comerciais, afim de oferecer serviços atrativos para seus clientes.

A era digital tem como ponto forte a disponibilidade de acesso à internet através de vários meios de comunicação tais como *smartphones* utilizando tecnologias 3G, 4G entre outros e as redes sem fio, foco deste estudo.

Devido a essa grande demanda comercial e social de acesso à internet, especialistas vem estudando a otimização da quantidade de equipamentos para a maior e melhor cobertura de sinal por metro quadrado, além da criação de melhores equipamentos, para ficar à disposição do mercado para comercializar.

À medida que os usuários vão utilizando os serviços disponíveis para acesso à internet, é de fundamental importância dos estudos relacionados a disponibilidade do serviço, ou seja, fazer com que o usuário não tenha perda da qualidade do serviço, seja por muitos acessos simultâneos e uma pequena faixa de banda disponível resultando na lentidão da internet, seja por equipamentos que não suportam a demanda de usuários conectados no mesmo equipamentos. Consequentemente isso é refletido em estudos sobre qualidade do sinal recebido, e em casos onde há transmissão de vídeo, a qualidade da experiência do usuário na recepção do vídeo transmitido.

Um exemplo da importância da qualidade do serviço disponível é o youtube®, empresa que disponibiliza canais particulares na internet para que o usuário acesse através de um navegador, utilizando tecnologia *streaming*, onde é possível obter informações diversas, diferentes dos canais da televisão aberta onde a grade de programação é estabelecida pela emissora. Então a não interrupção da visualização dos vídeos disponíveis na internet é fundamental para o sucesso do canal, e consequentemente da empresa.

Considerando a situação atual do mercado, é fundamental que haja um projetista especialista para indicar até onde a empresa pode oferecer serviços de rede sem fio com qualidade, sem esquecer a possibilidade de expansão do serviço garantindo a qualidade da rede e a satisfação dos seus clientes.

Em ambientes fechados, foco de estudo deste trabalho, é fundamental conhecer todas as barreiras que serão encontradas (paredes, janelas, espelhos, etc.) durante a transmissão do sinal, saber exatamente onde instalar o transmissor para que não haja prejuízos na recepção do sinal, tais como: Reflexão, Difração, Espelhamento, Influência da distância e dispersão em qualquer ponto do ambiente.

A propagação do sinal em ambientes fechados também é bastante influenciada pela natureza dos materiais empregados nos ambientes construídos e pelas características arquitetônicas, tais como:

- Os materiais de construção;
- Mobiliário do ambiente;
- Janelas, Portas, espelhos;
- Número de pessoas circulando;
- Quantidade de andares, etc.

1.1 MOTIVAÇÃO

Devido à popularização de tecnologias como a telefonia móvel e TV Digital, o estudo do comportamento do sinal em ambientes abertos são facilmente encontrados na literatura, e como consequência aparecem estudos correlatos com outros focos em ambientes abertos. Em [1] é proposto uma Rede Bayesiana para a detecção de espaço de um estacionamento vago, onde é realizado um processamento de imagem, levando em consideração variáveis como: iluminação, sombra, etc. Onde o sistema analisa vídeos de um estacionamento ao ar livre (capturados de manhã e à noite), e os resultados mostraram uma proposta para determinar sistematicamente o número espaço vago.

Enquanto no trabalho [2] é realiza um estudo de um algoritmo sem supervisão baseado em modelos de mistura infinitas generalizadas de Gauss, que levam em consideração a desvantagem de imagens de luz e imagens de infravermelhos em ambientes abertos, capturados a partir de um vídeo, então é utilizada uma abordagem Bayesiana para tentar detectar objetos nas imagens.

Entretanto, estudos sobre propagação de sinal em ambientes fechados são menos rotineiro, e quando é relacionado a vídeo, *QoS* e *QoE* em ambientes fechados, são poucos os estudos com essa linha de pesquisa, quando comparados com ambientes aberto.

Então surgiu o desafio de encontrar uma metodologia que auxilie a criação e manutenção de redes sem fio em ambientes *indoor* e que ofereça aos usuários *QoS* e *QoE* considerando a distância do transmissor, seja minimizando a perda do sinal transmitido, ou aumentando a área de cobertura deste sinal oferecido, observando as possíveis interferências que o ambiente *indoor* oferece.

Como no ambiente *indoor* existem muitas barreiras no percurso que o sinal do transmissor irá percorrer até o recebimento total por parte do receptor, é necessário então estudar essas barreiras, que será mapeado como áreas de incerteza, para que durante o planejamento de uma rede sem fio seja possível a minimização dos impactos causados por essas áreas incertas.

Frequentemente encontramos nos estabelecimentos comerciais, como *shopping*, clubes, entre outros, a disponibilidade de acesso à internet através de sua rede sem fio, para que os usuários possam usufruir afim de que acessem seus e-mails, redes sociais, notícias, etc.

Entretanto a quantidade de reclamações por parte do usuário na qualidade do serviço oferecido vem crescendo a cada dia, e para sanar esse problema é de fundamental importância saber a experiência do usuário no serviço do qual está utilizando e a qualidade do sinal que é oferecido, pois com o *feedback* do usuário, o administrador da rede poderá propor soluções ao problema encontrado, seja na expansão dos equipamentos utilizado, seja no aumento do link de internet oferecido.

E somente através de estudos em ambientes fechado será possível obter metodologias para melhor auxiliar o planejamento das redes e mapear os fatores que mais influenciam a perda do sinal e os comportamentos padrão oferecidos. Para isto é necessários vários testes em ambientes fechados controlados para que se possa comprovar a eficiência da metodologia proposta.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo desta dissertação é realizar uma campanha de medições em ambiente fechado controlado, onde será possível monitorar o comportamento da rede sem fio montada durante a transmissão de vídeo. Por conseguinte, mapear os pontos a serem medidos, e posicioná-los propositalmente antes e depois de cada barreira ultrapassada pelo sinal do transmissor até a recepção pelo usuário final (receptor). Utilizando uma Rede Bayesiana realizar inferências das variáveis escolhidas (Atraso fim a fim, Jitter, PSNR e SSIM), tendo como referência a distância entre o transmissor e receptor, e como isto obter os resultados de cada inferência afim de analisar a rede sem fio, e assim prever o comportamento de redes sem fio futuras em ambientes fechados similares ao selecionado por este trabalho, proporcionando que esta metodologia seja utilizada como auxílio ao planejamento de redes sem fio.

1.2.2 Objetivo Específico

Para alcançar o objetivo deste trabalho foram necessários a realização de algumas etapas que serão descritas a seguir:

1. Realizar uma campanha de medições em um ambiente fechado, onde encontra-se vários tipos de barreiras, tais como paredes de tijolo, paredes de madeiras, vidros, espelhos entre outros, possibilitando a presença de espelhamento, difração, etc. fenômenos este encontrados nos ambientes reais onde rede sem fio são instaladas.
2. Promover a análise sobre o comportamento que o sinal possui quando são ultrapassadas as barreiras que se encontram durante o caminho do percurso, com isso verificar imediatamente o comportamento de algumas variáveis de *QoS/QoE*, tais como: RSSI (Received Signal Strength Indication), PSNR (Peak signal-to-noise ratio), *Jitter*, SSIM (Structural Similarity) e Atraso fim a fim da transmissão do vídeo.
3. Verificar até onde há cobertura de sinal do Ponto de Acesso (PA), e obter a distância que o sinal possui uma qualidade suficiente para que haja uma transmissão do vídeo sem que ocorra perdas significativas e atrapalhe a experiência do usuário no produto final.

4. Utilizar o banco de medidas para inserir na Rede Bayesiana e assim poder promover as inferências das variáveis medidas, afim de obter o resultado em formas probabilísticas e interpretá-lo do ponto de vista técnico para avaliar quais os benefícios da metodologia utilizada.
5. Desenhar os mapas de calor, a partir das matrizes probabilísticas que resultaram da Rede Bayesiana, com o objetivo de demonstrar visualmente o comportamento da rede sem fio estudada.

1.3 CONTRIBUIÇÕES DA DISSERTAÇÃO

Este trabalho tem como contribuição para comunidade científica o estudo de Redes Bayesianas, sendo uma solução híbrida entre simulação e medição, para auxílio ao planejamento de redes sem fio, objetivando a compreensão as interferências existentes no ambiente indoor, bem como as suas implicações sobre a distância do transmissor e qualidade mínima, para que haja uma recepção do sinal mínima no usuário final, e consequentemente da informação transmitida, com qualidade suficiente para que o vídeo seja visualizado sem perdas.

1.4 ORGANIZAÇÃO

Essa dissertação está dividida em 7 capítulos e a organização é dada abaixo:

- No capítulo 1 é feita a introdução da dissertação através de uma abordagem geral;
- No capítulo 2 é abordado alguns trabalhos correlatos que serviram de base para o desenvolvimento deste trabalho;
- No capítulo 3 é explicado como trabalha uma Rede Bayesiana, quais seus modelos e sua influência para escolha na metodologia do trabalho.
- No capítulo 4 são abordados os conceitos das métricas utilizadas e qual a sua importância para análise do trabalho e a influência no resultado obtido;
- No capítulo 5 é apresentada a metodologia do trabalho, bem como suas etapas que foram realizadas;
- No capítulo 6 são apresentadas e descritas as etapas da campanha de medições para a obtenção de dados que foram utilizados nesse trabalho;
- No capítulo 7 serão apresentados os resultados obtidos neste trabalho através da metodologia utilizada;

- No capítulo 8 é apresentado as conclusões obtidas no trabalho e a sugestão para os trabalhos futuros.

CAPITULO 2 – TRABALHOS CORRELATOS

2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Neste capítulo será apresentado trabalhos atuais que demonstraram a propagação em ambientes *indoor*. Os modelos de propagação e avaliação de desempenho que foram pesquisados, tais como *QoS* e *QoE* nos ambientes fechados com sistemas de redes sem fio, relacionado com esta dissertação.

2.2 ESTUDO DA ARTE

Devido à grande demanda de redes sejam domésticas ou empresárias, em ambiente indoor, são encontrados diversos trabalhos na literatura relacionados a redes sem fio em ambientes fechados. Contudo os trabalhos encontrados apresentam, em sua maioria, foco em transmissão de voz sobre IP (*Internet Protocol*), otimização da rede, minimização de *handoff*, entre outros.

No trabalho [3] tem como objetivo propor uma metodologia para projetos em redes locais sem fio otimizadas, utilizando um modelo de perda de sinal que considera medidas de potência e parâmetros de *QoS*, sempre objetivando maximizar a cobertura com o menor número de PA (Ponto de Acesso) a serem instalados em um determinado ambiente *indoor*. Utilizando uma técnica de otimização do tipo algoritmos genéticos multi-objetivo, foi proposto um modelo de propagação que permite simular a probabilidade do recebimento do sinal no ambiente estudado.

Utilizando a criação de uma rede WLAN, em prédios distintos (Figura 1), e realizando campanhas de medições nos dois prédios que possui arquiteturas diferentes um do outro, foi utilizado uma aplicação *VoIP* (*Voice over Internet Protocol*), implementada em Delphi para a transmissão dos dados para verificar parâmetros de *QoS*.

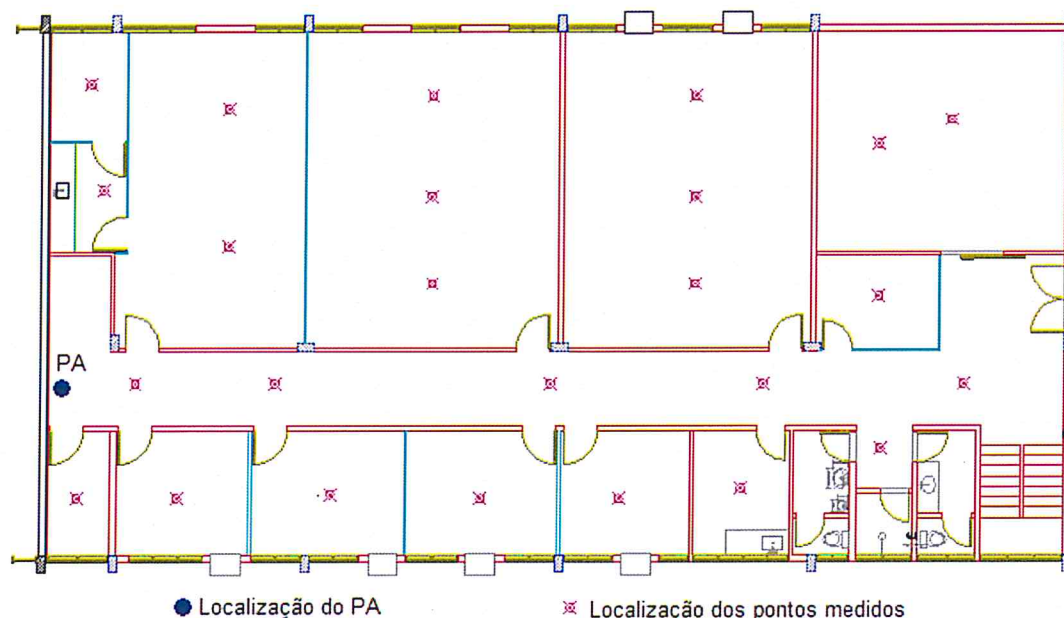


Figura 1 - Planta de um Prédio Medido[3]

Utilizando metodologia de compreensão de domínio da aplicação, foi realizado pré-processamento dos dados obtidos e extraindo padrões para avaliação do conhecimento. Por vezes foi realizado o pós-processamento para consolidação do conhecimento, em um cenário de medições baseado tem em aplicações VoIP.

Entretanto, observa-se no trabalho [4] que foi proposto o planejamento da capacidade de redes sem fio considerando a influência de inferências utilizando técnica de inteligência computacional das redes Bayesianas na transferência de dados sobre IP. Onde avaliou-se através de medições o desempenho de dois pontos de acesso com cenário multiusuário, foram realizados experimento com interferência na rede e sem interferência durante a transmissão dos dados.

Então foi gerada uma grande base de medidas, utilizando a base de dados das medições foi realizada a entrada da rede Bayesiana para verificação da influência no parâmetro de *QoS*. Foi utilizada uma abordagem híbrida de algoritmo genético para realizar o planejamento da rede sem fio.

Enquanto em [5] propõe o estudo do *Handoff* este fenômeno afeta a comunicação e a transmissão de vídeo em ambientes fechados. Para isto foi utilizada técnicas de avaliação de desempenho, nas medições realizadas onde obteve-se arquivos de dados das transmissões de vídeo em uma rede criada e monitorada.

No cenário de testes foram posicionados os dois PA, e foi definido previamente o trajeto entre os nós, o qual foi dividido em percursos. Para cada percurso foi feita uma

transmissão do vídeo, onde foram coletados todos os dados considerados relevantes, e verificou-se o comportamento da transmissão de cada percurso e a ocorrência ou ausência do *Handoff*.

Durante os testes, foi realizado também experimentos para cada percurso com concorrência na largura de banda utilizada e sem concorrência da largura de banda oferecida. Todavia na utilização de rede sem fio foi configurada a rede Mesh, porque é composta por vários nós, perfeito para que o cliente possa percorrer entre estes nós para a verificação da ocorrência do *Handoff*.

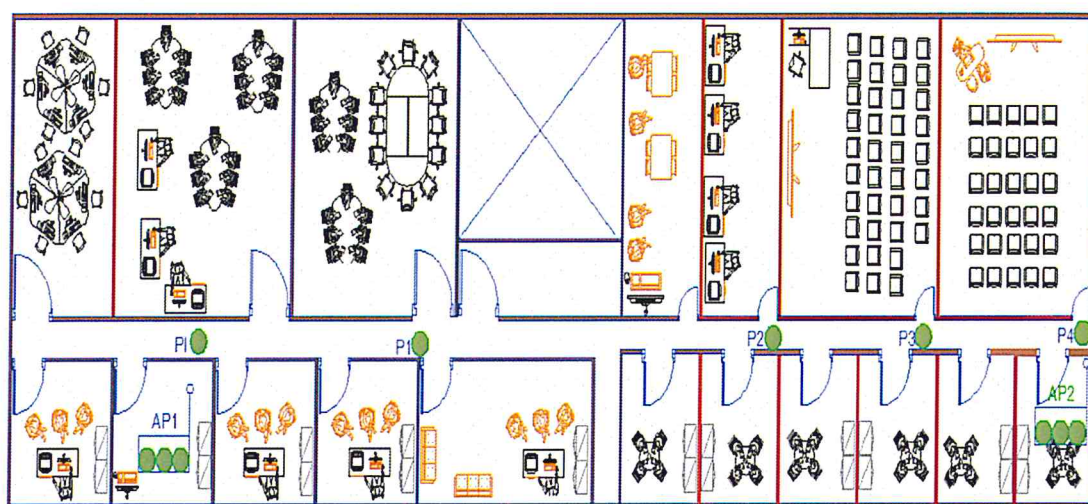


Figura 2 - Planta de Medições prédio[5]

O prédio escolhido, Figura 2, para a campanha de medições possui características frequentemente encontradas em estabelecimento comerciais, tais como: mesas, cadeiras, etc. Assim há uma probabilidade maior da ocorrência de interferências devido os materiais mistos presentes no cenário.

Em [6] o objetivo é avaliar uma metodologia de caracterização de cobertura para sistemas de comunicação *indoor*, considerando modelos de propagação e variáveis como potência recebida, métricas de qualidade de serviço e qualidade de experiência, para analisar o comportamento das métricas de acordo com a distância, levando em consideração as perdas associadas aos obstáculos encontrados na rede *indoor*.

Fazendo um comparativo entre os modelos de cobertura entre sistemas de comunicação para ambientes *indoor*, utilizando variáveis de *QoS* para vídeo, considerando a distância do transmissor e a do receptor com estresse na rede para concorrência de largura de banda.

No trabalho [7], é realizada uma análise da atenuação de sinal em ambientes *indoor* utilizando Lógica *Fuzzy* e o modelo de propagação de Shadowing, com o objetivo de criar uma metodologia com a aplicação da lógica *Fuzzy* para a análise de propagação do sinal em ambientes *indoor*, obtendo a variável de perda de percurso que significa maior especificação da atenuação ocasionada pelo meio e os obstáculos presentes, caracterizando o ambiente e o impacto dos fatores que afetam na degradação do sinal.

Utilizando inteligência artificial com o método de Lógica *Fuzzy*, objetivando o estudo da rede de computadores criada, para determinar as variáveis de saída aplicando as regras estabelecidas, tais como, metas considerando as variáveis existentes no ambiente *indoor* como interferência no ambiente.

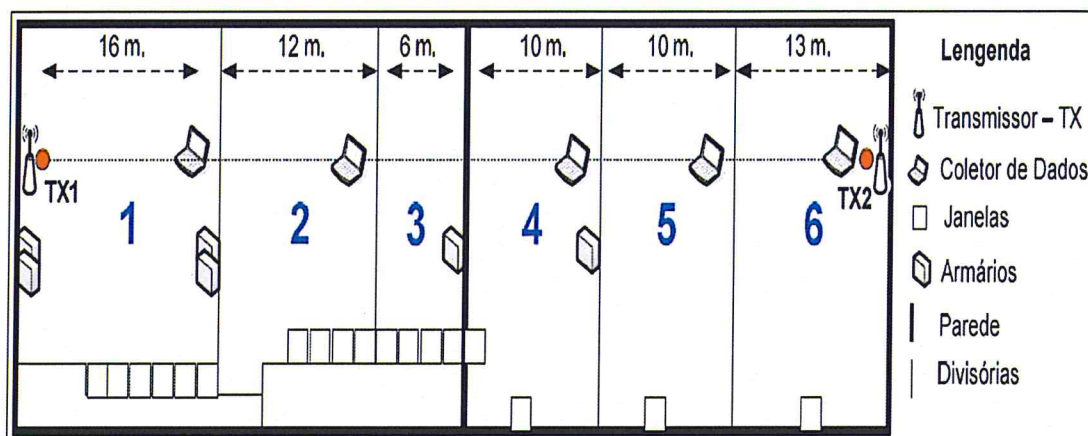


Figura 3 - Planta Medições Prédio [7]

Na Figura 3, é possível verificar os materiais utilizados em [7], bem como a quantidades de PA, e os obstáculos existentes no ambiente ocasionando uma probabilidade maior de interferência.

Este trabalho utiliza a metodologia de uma rede neural artificial, para tentar analisar os dados obtidas em uma campanha de medições em um ambiente *indoor*, para que as variáveis sejam armazenadas em um banco de dados e se tornem a entrada da rede neural, e assim realizar a análise para auxiliar o planejamento mais eficientes de redes sem fio.

Em [8] o trabalho apresenta um novo Alto Nível Informação Arquitetura de fusão com base em uma extensão difusa para *Multi-Entity Bayesian Networks* (MEBN). Modelando tanto semântica e causal relações entre as entidades existentes em um

contexto específico, MEBN são consideradas muito bem estudado e, teoricamente, uma abordagem que aproveita o poder de expressividade Lógica de primeira ordem, e gestão de incerteza rede Bayesiana. No entanto, falta MEBN a capacidade de modelar a ambiguidade que é intrínseca ao conhecimento adquirido através linguagem humana. Então, o trabalho propôs uma extensão difusa para MEBN com base no conceito distorcido da rede Bayesiana, e uma abordagem propagação ambígua.

A aplicabilidade da arquitetura proposta é investigado para implementação de um Sistema de alerta de colisão Veicular. Mostra-se que o sistema é capaz de não só lidar com ambas as relações semânticas e causais entre o as entidades existentes, mas também controla a ambiguidade inerente que se encontra na informação de entrada muito eficientemente.

Em [9] os serviços de vídeo IPTV estão em desenvolvimento para redes de banda larga, com entrega de sinal através de uma ligação sem fios. Dentro destas redes, são dedicados subcanais de diferentes tipos de transporte de tráfego de dados tais como: vídeo, voz, dados e etc.. Então é proposto o controle através de lógica *fuzzy* para alocar os fluxos de vídeo dentro de um subcanal IPTV sujeitos a flutuações da largura de banda disponível.

O método utilizado emprega a complexidade espacial e as métricas para julgar a parte apropriada na transmissão dos dados, na largura de banda disponível, levando em consideração o gênero e a dinâmica das flutuações da taxa de codificação. Para que as fontes dos vídeos possam ajustar as taxas de largura de banda disponível através de sinal sem fio.

Em testes, com a lógica *fuzzy*, que serve para mesclar a espacial e métricas de temporal na saída de um único controle, resulta em um ganho total na qualidade de vídeo sobre igualdade estática alocação de largura de banda, caso contrário, sofreria de uma inadequada cota de largura de banda desnecessariamente alocada.

Analisando [10], a transmissão de streaming em tempo real de vídeo é muito desafiadora por causa da variação do tempo em canais sem fio, e na maioria dos casos, pelas características de conteúdo de vídeo. Então é proposto um modelo exato para avaliar a qualidade percebida de streaming de vídeo sobre redes WLAN com maior função de coordenação distribuída do mecanismo.

O modelo analítico considera não só a perda de pacotes causada por interferência da rede sem fio e o canal, mas também os efeitos da perda de competição de acesso do canal. Com base na cadeia de Markov apresenta-se uma distribuição de probabilidade

discreta para controle de acesso ao meio e o tempo de serviço de pacotes usando a função de transferência de sinal do estado generalizado com o diagrama de transição. Além disso, a relação de codificação de vídeo a cada quadro perdido também é explorada na análise do desempenho proposta pelo modelo. Simulações com base em *Network Simulator 2* são realizados para verificar o desempenho analítico do modelo. Os resultados mostram que o modelo proposto fornece precisão superior para a qualidade percebida de vídeo MPEG-4.

Em [11] as métricas de Qualidade de Serviço ser tradicionalmente usado para avaliar a qualidade percebida dos serviços entregue por operadores de rede. No entanto, estas métricas não são adequadas para a avaliação da experiência de um usuário final. A experiência de um usuário mensurada com base em atividades como a velocidade de carregamento de página da web, e a qualidade de vídeo streaming, ou qualidade de voz de telefonia.

Devido à natureza geográfica das redes móveis, a experiência percebida de um usuário pode mudar de acordo com local e hora. Operadoras móveis podem priorizar certos serviços em detrimento de outros, levando para um tipo de serviço de qualidade de Experiência. Então apresenta uma aplicação móvel desenvolvida para reunir métricas necessárias para avaliar QoE num ambiente móvel.

A abordagem para obter não apenas um serviço geral, mas o serviço específico escore médio de opinião para quantificar QoE também é discutida. As experiências iniciais e ensaios de medição mostram que é possível para o mesmo operador entregar diferente QoE com base em serviço.

Em [12] redes sem fio Multihop, como ad hoc e redes mesh são ambos suscetíveis a incerteza aleatória de links de rádio e interferência maliciosa. Roteamento tradicional Unipath como técnicas de reduzir a entrega de pacotes em na rede.

Ser capaz de prever a confiabilidade da transmissão, a priori, pode ser útil na concepção viável da rede. Consideramos uma rede de nós dirigida pela sua localização realiza o roteamento baseado em redundância, e propõe um modelo analítico que pode prever a confiabilidade de uma transmissão de dado, levando em consideração certos parâmetros como a densidade nó da rede e região da rede envolvida na transmissão.

Neste estudo foi considerado uma técnica de roteamento multipath difusa geo-chamada Pétala de encaminhamento, que tira partido da natureza da transmissão de redes sem fio para reduzir o número de transmissões de vários caminhos. Investigou-se

a precisão da análise modelo comparando métricas, tais como confiabilidade obtidos a partir modelo e de simulações OPNET.

Como visto nos trabalhos acima mencionados, vários estudos relacionados a métricas, comportamentos, análises de vídeo são encontrados com facilidades em artigos científicos, teses de doutorado, dissertações de mestrado. É comum a utilização de inteligência artificial, para propor soluções computacionais a um determinado problema.

Como visto também, os ambientes abertos são mais utilizados para estudos relacionados a vídeos, pois uma das variáveis mais comuns de estudo é a iluminação, que de acordo com a hora do dia, terá uma iluminação mais rica, caso encontrado enquanto a sol, e uma iluminação mais escassa, casos encontrados durante a noite.

Os estudos em ambientes fechados são mais direcionados a métricas de qualidade de serviço, geralmente são estudados apenas a distância e alcance do sinal transmitido, tendo como análise a otimização dos pontos de acessos instalados neste tipo ambiente, de tal forma a aumentar o alcance da rede sem fio criada.

Contudo, em nenhum desses trabalhos é utilizada uma rede Bayesiana como solução ao auxílio no planejamento de redes sem fio, onde seja possível estimar probabilisticamente as incertezas encontradas em ambientes *indoor*. Pois em ambientes fechados, é comum a presença de barreiras que influenciam na potência do sinal, e consequentemente na transmissão do vídeo na rede.

E também não apresenta, uma análise em métricas de Qualidade de Experiência, como é realizada nesta dissertação, onde o vídeo transmitido é reconstruído e testado após a transmissão para verificação do cliente, se a qualidade do vídeo é possível o usuário assisti-lo sem nenhum prejuízo ao conteúdo, ou seja, com imagem nítida e sem perda de frames.

2.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como visto, são encontrados na literatura alguns trabalhos que tem como foco ambientes *indoor*, facilitando assim o entendimento pelo leitor sobre a complexidade do planejamento de uma rede sem fio em ambientes fechados. No próximo capítulo deste trabalho será apresentada a técnica de inteligência computacional utilizada para o auxílio do planejamento de uma rede sem fio com minimização de perda de sinal e a qualidade do serviço oferecido ao usuário.

CAPITULO 3 – REDE BAYESIANA

3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Este capítulo tem como finalidade demonstrar o porquê da utilização das redes bayesianas como metodologia para que pudesse chegar ao resultado do caso de uso apresentado e realizar relatórios probabilísticos afim de auxiliar o planejamento de redes sem fio, para isto será apresentada a definição das redes bayesianas, os modelos probabilísticos gráficos para representação do conhecimento em áreas onde existem incertezas. E as representações: Qualitativa: representando as dependências entre os nós; e quantitativa: representada pelas tabelas de probabilidade condicionais.

3.2 DEFINIÇÃO DE REDE BAYESIANA

O ser humano vivencia a tomada de decisão a todo momento, desde uma escolha cotidiana tais como: tomar café ou suco? Tomar banho de água quente ou água fria? Então é definida a resposta a esta pergunta com base no gosto ou até no em um momento que o ser humano está vivenciando, seja por pressa ou por falta de ingredientes. Em [13], sugere que os sistema pesem racionalmente: “O estudo das faculdades mentais pelo seu uso de modelos computacionais.”

Normalmente todo ser humano encara isso de maneira simples, mas simular essa tomada de decisão não em um cenário computacional não é uma tarefa simples, e para isso, podemos utilizar redes bayesianas, que trabalham a partir do raciocínio probabilístico, e estabelecem um conjunto de dependências entre variáveis, que podem ser discretas ou contínuas.

Os sistemas baseados em redes bayesianas são capazes de gerar automaticamente predições ou decisões mesmo na situação de inexistência de algumas peças de informação, ou seja, quando o problema não tem um conhecimento total de todos elementos apresentados, então o sistema trabalhará sob incerteza. Com isso, se faz necessário utilizar de um percentual para definir qual será a melhor solução computacional para o problema, analisando evidências existentes.

Algoritmos para diagnóstico utilizam métodos de resolução para prever qual será o resultado mais provável para determinado problema. Para isso é usado um importante campo da matemática: a Probabilidade. A probabilidade muitas vezes é descrita na maioria das fontes de pesquisa como sendo um estudo de fenômenos aleatórios. Em um domínio composto por um agente inteligente, este agente deverá, através da

probabilidade, determinar qual a melhor ação a ser tomada baseada em evidências adquiridas ao longo da execução do sistema. A melhor ação é definida pela alta probabilidade de acontecer juntamente com seu nível de utilidade, de acordo com [14]:

$\text{Teoria da decisão} = \text{teoria da probabilidade} + \text{teoria da utilidade.}$

Com base na formula da decisão, precisa-se entender a teoria da probabilidade, alicerce das redes bayesianas. Segundo [15], um evento é, simplesmente, um conjunto de resultados possíveis, onde o evento será um subconjunto de um espaço amostral. O espaço amostral é constituído por todos os valores que analisaremos em um problema.

A probabilidade de determinado evento ocorrer é dada pelo número de elementos contidos no evento A dividido pelo número de elementos do espaço amostral. Calcular a probabilidade de um evento A, tal que o evento B tenha ocorrido, é usada probabilidade condicionada, que, de acordo com [16] pode ser descrita como pela fórmula:

$$P(A|B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)}$$

E a probabilidade de ocorrer A, tal que B, é igual a probabilidade de A e B acontecerem dividido pela probabilidade de B acontecer, sempre que $P(B) > 0$. Então tirando como base a probabilidade condicional, é possível reescrever isso como sendo:

$$P(A \cap B) = P(A|B)P(B).$$

Como,

$$P(A \cap B) = P(B \cap A).$$

Então:

$$P(A|B)P(B) = P(B|A)P(A).$$

Ou seja:

$$P(A|B) = \frac{P(B|A)P(A)}{P(B)}$$

Chega-se então ao teorema de Bayes, formulado por Thomas Bayes. O nome de redes Bayesianas deriva da utilização da fórmula matemática para o cálculo de probabilidades. As redes bayesianas são representações gráficas deste teorema. São diagramas que organizam o conhecimento numa dada área através de um mapeamento

entre causas e efeitos, representam a dependência entre variáveis, dando uma especificação concisa da distribuição conjunta, ou seja, a estrutura de uma rede Bayesiana codifica as relações de independência condicionada.

Seguindo este raciocínio de representação gráfica das redes bayesianas, em [17] explica que, o estudo dos grafos é realizado pelo ramo da matemática denominado Teoria de Grafos e diz respeito ao estudo das relações de seus elementos, os quais são comumente chamados de nós e arcos. Os nós são elementos principais os quais representam as variáveis aleatórias consideradas no problema e são representados por círculos. Os arcos são setas que representam a relação de direta dependência entre um nó e outro, ou seja, representa a dependência probabilística direta entre duas variáveis.

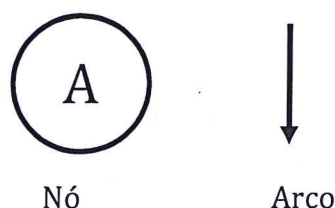


Figura 4 – Representação de Nó e Arco

Ainda segundo [14], uma distribuição conjunta total especifica a probabilidade de todo evento atômico, sendo assim uma especificação completa da incerteza sobre um mundo. Um evento atômico é uma atribuição de valores a todas as variáveis presentes em um domínio incerto. Por exemplo, se existisse um mundo onde houvesse apenas uma variável booleana A . Então os eventos atômicos seriam $A = \text{verdadeiro}$ e $A = \text{falso}$. Para um mundo com duas variáveis booleanas A e B , teríamos que $A = \text{falso} \wedge B = \text{falso}$ seria um evento atômico.

Uma rede bayesiana pode ser representada por um grafo acíclico dirigido, onde cada nó terá informações probabilísticas daquele evento, e com arcos representando dependências entre esses eventos. O grafo direcionado acíclico tem as seguintes características

1. Os nós correspondem a variáveis aleatórias.
2. Uma ligação direcionada ou arco com seta liga pares de variáveis (denominados nós). O significado intuitivo de um arco dirigido do nó X para o nó Y é que X tem uma influência direta sobre Y .

3. Cada nó tem associados os estados da variável que representa e uma tabela de probabilidades condicionadas que quantifica os efeitos que os pais exercem sobre um nó (probabilidade de o nó estar num estado específico dado os estados dos seus pais)

4. O grafo não possui ciclos direcionados

Por este motivo chega-se a conclusão que as redes bayesianas são modelos que representam os relacionamentos probabilísticos entre as variáveis que caracterizam um determinado domínio, onde possuem duas representações: Estrutura Qualitativa e Estrutura Quantitativa.

Além de representar o conhecimento do domínio, as redes bayesianas mostram a relação de dependências entre as variáveis dos problemas, mostrando as probabilidades a priori das variáveis envolvidas e as probabilidades condicionais entre as variáveis que possuem dependências, permitindo calcular eficientemente as probabilidades a posteriori de qualquer variável aleatória usando a definição recursiva do teorema de Bayes.

Contextualizando o teorema de Bayes, os atributos na prática são independentes entre si, mas são dependentes de um atributo principal, como mostra a figura 4, que A é o atributo principal e B, C e D, são dependentes de A.

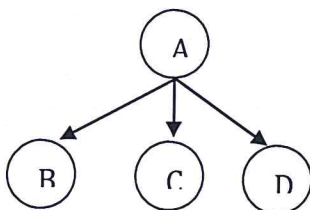


Figura 5 - Representação de Dependência em Redes Bayesianas

3.2.1 Inferência em Redes Bayesianas

A inferência em redes bayesianas é comumente utilizada para referenciar a atualização de probabilidades por toda a estrutura da rede no qual está sendo analisada, com um conjunto de evidências. Então, segundo [18], trata-se de um mecanismo para cálculo da distribuição posteriori de probabilidade para um conjunto de variáveis, dado um conjunto de evidências, ou seja, variáveis aleatórias com valores instanciados.

Com a rede Bayesiana criada, pode-se extrair conhecimento nela representado através de um processo de inferência. De acordo com [19] existem vários métodos para

realização de inferência, dentre os métodos tradicionais destacam-se o de propagação em poliárvores [20] e o de eliminação de variáveis [21] com suas variações.

É possível classificar em quatro diferentes tipos de inferências uma Rede Bayesiana, tais como: Causal, Diagnóstico, Intercasual e Associada[22] e [23]:

- **Casual:** Considere-se uma cadeia causal de três nós, onde a variável A causa a variável B que por sua vez causa a variável C, conforme demonstrado na figura 5a.
- **Diagnóstico:** Considera-se uma cadeia de diagnóstico quando duas variáveis tem uma causa comum, no caso a variável A e C são causadas pela variável B, conforme demonstrado na figura 5b.
- **Intercasual:** Considera-se uma cadeia intercasual quando duas variáveis A e C, causam efeito em uma variável B, como demonstrado na figura 5c.
- **Associada:** Considera-se uma cadeia associada, quando há uma combinação entre 2 ou mais interferências juntas das descritas acima.

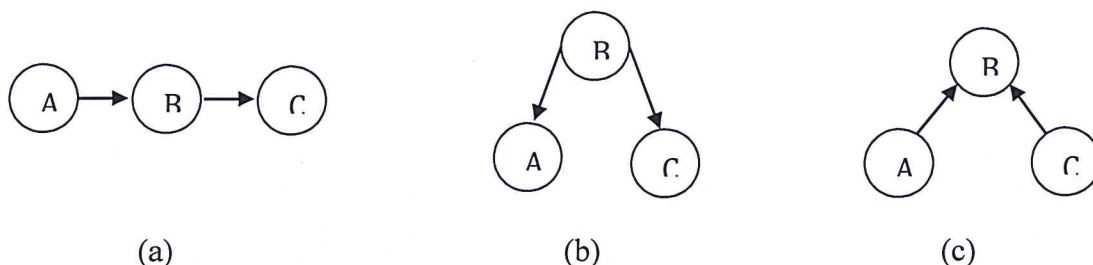


Figura 6 - Representação de Inferências de Redes Bayesianas

3.3 CRIAÇÃO DE UMA REDE BAYESIANA

Com a montagem de uma Rede Bayesiana, há como representar domínios, correlacionar as dependências entre as variáveis da rede e estudar cada um dos nós, permitindo visualizar as variáveis existente no ambiente, considerando a probabilidade e o grau de certeza de uma determinada interferência que venha a surgir.

A avaliação é feita em termos de probabilidade de dependências [22], [18]. Esses componentes formam uma eficiente representação da distribuição de probabilidade conjunta das variáveis $X_1, X_2 \dots X_n$ em um dado domínio [20].

Uma vez que uma rede é gerada, é possível prever seu comportamento futuro pela escolha de um certo intervalo do atributo. Ao escolher esse intervalo os valores são propagados aos nós, isso é chamado de inferência bayesiana.

Uma Rede Bayesiana, por definição é uma representação compacta de uma tabela de conjunto de probabilidades do universo do problema. Levando em consideração o especialista, Redes Bayesianas constituem um modelo gráfico que representa de forma simples as relações de causalidade das variáveis de um sistema.

Uma rede bayesiana deve ser composta de:

- Um conjunto de variáveis e um conjunto de arcos ligando as variáveis.
- Cada variável possui um conjunto limitado de estados mutuamente exclusivos.
- As variáveis e arcos formam um grau dirigido sem ciclos
- Para cada variável A que possui como pais $R_1, \dots, R_n$ existe uma tabela de $P(A|R_1, \dots, R_n)$.

Caso A não possua um pai, a tabela de probabilidades é reduzida para uma probabilidade condicional $P(A)$. Uma vez definida a topologia da rede, basta especificar as probabilidades dos nós que participam em dependências diretas, e utilizar estas para computar as demais probabilidades.

3.4 REPRESENTAÇÕES DA REDE BAYESIANA

A quantidade de informação gerada pelos sistemas atuais tem aumentado significativamente e com isso existe uma dificuldade muito grande do ser humano em analisar esta grande quantidade de dados, por este motivo há a necessidade de softwares compostos por funções computacionais, métodos e técnicas para manipular esses dados.

Existem várias ferramentas de banco de dados, como soluções de Mineração de Dados (MD), que utilizam técnicas de estatísticas, recuperação de informação através de relatórios estatísticos e organização relacional.

Então devido à grande volume de informações que os sistemas estão gerando, é necessária técnicas adequadas de Mineração de Dados, para obter padrões existentes na base de dados, além de sequências temporais ou até mesmo realizar associação de dados.

Tentando solucionar problemas relacionados a Mineração de Dados em bases com um grande volume de dados existem técnicas de raciocínio probabilísticos, uma dessas técnicas são as Redes Bayesianas, pois há como trabalhar com campos imprecisos, utilizando uma tabela de probabilidade, por exemplo. Onde o preenchimento das tabelas de probabilidades condicionadas é muitas vezes simples (desde que a relação entre os pais e o nó filho não seja arbitrária).

Normalmente as relações entre nós pais e nós filhos caem em categorias de distribuições que obedecem a um padrão, sendo necessário apenas identificar qual o padrão e introduzir alguns parâmetros.

As Redes Bayesianas possuem representação gráfica de variáveis e como estas se relacionam em um problema específico. Esta representação é feita através de grafos, representando as dependências entre suas variáveis, podendo avaliar quantitativamente (em termos de probabilidades) essas dependências. A figura 6 mostra o grafo da Rede Bayesiana criada para o estudo e suas variáveis.

Os elementos da Rede Bayesiana são chamados de nós e arcos. Os nós são os elementos principais e representam as variáveis aleatórias (podem ser discretas ou contínuas) consideradas no problema e são representados por círculos. São representados por $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$. Os arcos são setas que representam a conexão direta entre os nós, representando a dependência probabilística direta entre duas variáveis. [22]

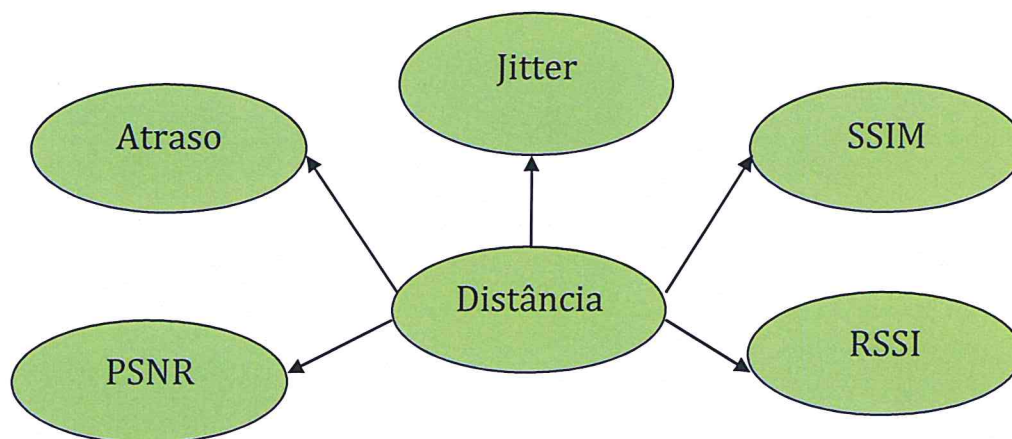


Figura 7 - Rede Bayesiana

Inferência, em Redes Bayesianas, é um mecanismo para o cálculo da distribuição posteriori de probabilidade para um conjunto de variáveis, dado um conjunto de evidências, ou seja, variáveis aleatórias com valores instanciados [18].

Em [25], é possível inferir sobre as dependências condicionais que se estabelecem entre as variáveis com base no gráfico da rede, bastando evidenciar a ocorrência de um determinado estado em uma ou mais variáveis da rede, propagando, dessa forma, o efeito das observações pela rede.

Segundo [26], O processo de inferência bayesiana é a base do uso de Rede Bayesianas e consiste no processo de obtenção da probabilidade a posteriori a partir da probabilidade a priori, ou seja, extrair o conhecimento representado em uma rede já definida. O cálculo da probabilidade pode ser representado pelo produto das probabilidades dos nós ou, quando possuírem pais, da sua probabilidade condicional.

A inferência Bayesiana é o processo de obtenção probabilístico a partir da probabilidade de um conjunto de variáveis a serem analisadas considerando uma dada métrica principal.

As inferências são realizadas de diversas formas, levando em consideração os tipos de estruturas e as diferentes quantidades de variáveis. Quanto mais variáveis e mais estruturas complexas, maior a dificuldade no cálculo das probabilidades da rede. [27]

3.5 ALGORITMOS DE APRENDIZAGEM

As redes Bayesianas são modelos probabilísticos, como foi visto anteriormente, contudo para que esses modelos sejam aplicados é necessário o treinamento da rede criada e existem vários algoritmos de aprendizagem, a seguir serão explicados alguns desses algoritmos.

Em [28], a aprendizagem da estrutura da RB pode se dar basicamente de duas formas: supervisionado e não-supervisionado. No primeiro caso, as informações são definidas manualmente por um especialista no domínio, com base no conhecimento pessoal. No segundo caso, a estrutura é dada através de algoritmos de aprendizagem aplicados a bases de dados e, diferentemente do primeiro caso, depende de cálculos sobre os dados armazenados. Enquanto (NEAPOLITAN), afirma que se pode ainda utilizar uma combinação entre essas duas abordagens.

3.5.1 Algoritmo K2

K2 é um algoritmo de busca heurística, proposto por Cooper e Herskovitz [29], para o aprendizado de estruturas de redes Bayesianas, tendo, como entrada, um

conjunto de dados e uma ordenação das variáveis e gera, como saída, a estrutura da rede Bayesiana.

O algoritmo K2 aplica um método baseado em busca e pontuação, onde esta pesquisa na base de dados possíveis estruturas padrões de Rede Bayesiana, com o objetivo de determinar a melhor estrutura que se encaixa aos dados analisados, iniciando com uma rede sem arcos e adicionando-os aos poucos e avaliando, cada variável e pontuando a estrutura obtida, tendo como saída resultados bastante precisos.

3.5.2 Algoritmo CDL

Em [20], os métodos baseados em análise de dependência, a estrutura qualitativa representa o conjunto de independência condicional associado aos nós da rede. A independência condicional na distribuição representada por uma Rede Bayesiana é codificada na estrutura do grafo e pode ser encontrada usando o critério d-separation.

O algoritmo CDL é um algoritmo que utiliza método baseado em análise de dependência entre variáveis da base de dados. Neste algoritmo os arcos da Rede Bayesiana são adicionados ou removidos dependendo de um teste de independência condicional entre os nós. Ao iniciar com uma estrutura totalmente conectada com arcos sem direção, eliminando arcos baseado em testes de independência condicional, onde esse teste de independência pode ser feito entre os pares de nós ou um conjunto maior de variáveis condicionais.

3.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo sintetiza Rede Bayesiana, como é realizada a criação da rede, qual foi o algoritmo escolhido, qual a motivação das Redes Bayesianas, bem como a sua definição e o seu funcionamento, quais as inferências conhecidas, quais as suas entradas e as suas possíveis saídas, além de uma visão de alguns algoritmos utilizados na aprendizagem da Rede Bayesiana. A representação da Rede Bayesiana no estudo, e as variáveis encontradas na base de dados. No próximo capítulo, será abordado cada uma das variáveis de entrada, e porque eles são importantes na análise de vídeo.

CAPITULO 4 – METRICAS DE QOS E QOE

4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Este capítulo tem como objetivo explicar quais as métricas que estão sendo utilizados durante a metodologia do trabalho e detalhar o que cada uma das métricas significam no resultado obtido ao final do trabalho realizado.

4.2 MÉTRICA DE QOS: RSSI

No inglês *Received Signal Strength Indication* tem sua tradução em Indicação da intensidade do sinal recebido, definido pelo padrão de comunicação sem fio IEEE (Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos) 802.11, é uma métrica relativa da força da energia de um sinal, onde deve ser medido por uma interface de rede sem fio.

Utilizado por uma placa de rede para determinar se outros dispositivos estão a transmitir no canal. Também é usado para determinar quando um sinal diminui o suficiente para que o dispositivo deverá buscar um outro dispositivo.

A escala do RSSI é diferente para cada placa de rede, porque o fornecedor define o seu próprio máximo de RSSI, que poderá, por exemplo, ser inferior ou igual a 255. Localize o roteador sem fio a partir do qual você quer medir média RSSI de dentro da ferramenta da rede sem fio.

De maneira prática a métrica de RSSI é destinada para medir a desempenho de uma rede sem fio, pois indica o nível mínimo de sinal que deve haver no receptor para atingira a taxa de transmissão desejada.

O intervalo aceitável de RSSI tem variação entre -60 a -80 dBm. Valores maiores que -55 dBm serão considerados como excelente intensidade de sinal e valores menores que -85 dBm serão considerados de baixa intensidade. O RSSI pode ser calculado da seguinte forma:

$$\text{RSSI} = \text{relação sinal ruído} + \text{ruído.}$$

A Figura 7, exemplifica o nível de sinal, o raio alcance do sinal do transmissor e a qualidade do sinal levando em consideração a métrica de RSSI, onde foi classificado em Excelente, Bom, Regular e Ruim.

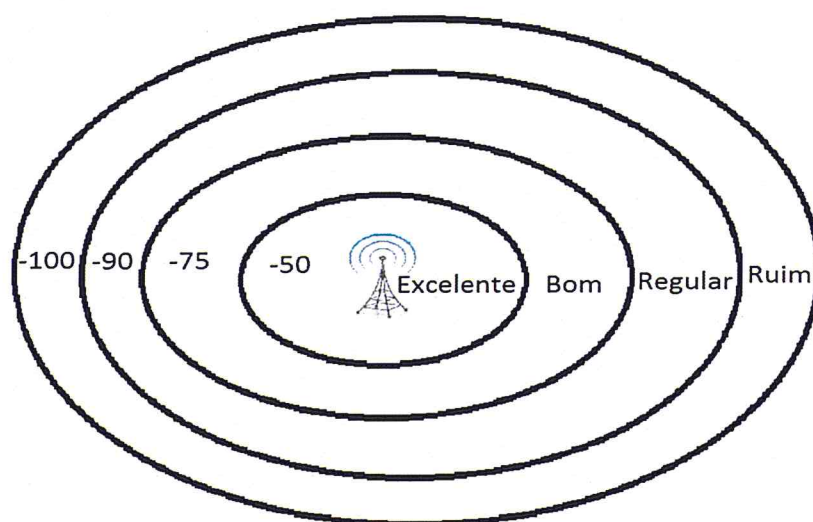


Figura 8 - Referência de Nível de Sinal RSSI

4.3 MÉTRICA DE *QOE*: PSNR

Em inglês *Peak signal-to-noise ratio*, traduzida para o português: razão máxima de sinal-para-ruído (PSNR), refere-se a relação entre a potência máxima possível de um sinal e a potência de ruído que afeta de modo a corromper a fidelidade da sua representação. Muitos sinais têm uma gama dinâmica muito ampla, PSNR é normalmente expressa em termos de decibéis escala logarítmica.

PSNR é mais usada para medir a qualidade da reconstrução de codecs de compressão com perdas (por exemplo, para a compressão de imagem). O sinal, neste caso, são os dados originais, e o ruído é o erro introduzido pela compressão. Ao comparar codecs de compressão, PSNR é uma aproximação para a percepção humana de qualidade reconstrução.

Embora uma maior PSNR geralmente indique que a reconstrução é de qualidade superior, em alguns casos, pode não ser. Tem que ser extremamente cuidadoso com o intervalo de validade dessa métrica; só é válido quando conclusivamente é utilizado para comparar os resultados do mesmo tipo de codec e o mesmo conteúdo.

A Figura 8, demonstra a métrica de PSNR, quanto maior é o valor, significa que melhor é a qualidade da imagem aferida, e quanto menor o valor mais interferência na qualidade da imagem, onde é perceptível os “pixel de interferência”.

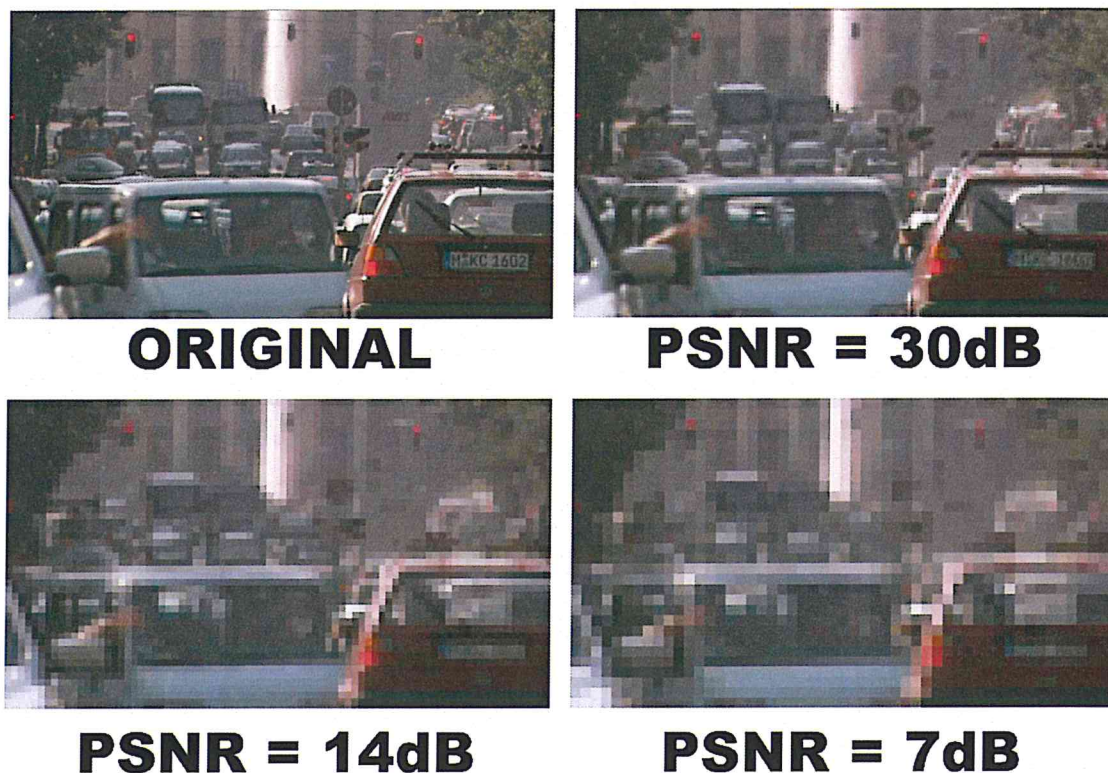


Figura 9 - Referência de Nível de PSNR

4.4 MÉTRICA DE QOS: JITTER

O JITTER é por definição uma variação estatística do atraso na entrega de dados em uma rede, pode ser definida como a medida de variação do atraso entre os pacotes sucessivos de dados.

Contudo para melhor esclarecimento, é interessante conhecer o PING, que é um utilitário que usa o protocolo ICMP (*Internet Control Message Protocol*), para testar a conectividade entre equipamentos.

O PING é a medida diz quanto tempo um pacote de dados leva para fazer a rota do computador qualquer para um servidor na Internet e voltar. Semelhante a perda de pacote, quanto menor é o resultado, melhor é o desempenho da rede. Um resultado abaixo de 100ms deve ser esperado de qualquer conexão de banda larga eficiente.

Uma vez que é entendido a definição do PING, fica mais fácil a compreensão do JITTER, que é a variação de diversos pings, ou seja, é a subtração do maior valor com o menor valor. Como nos outros termos, quanto menor é o resultado encontrado, melhor é o desempenho.

Em transmissões de VoIP, a taxa de JITTER muito alta pode ocasionar no não entendimento da mensagem no destino final, pois ocorrerá a “falha” da fala, podendo não chegar algumas palavras durante a sua transmissão.

Entretanto na transmissão de vídeo, a alta taxa de JITTER, comumente ocorre no “embasamento” da imagem, comprometendo assim a qualidade do vídeo para o usuário final, conforme Figura 9.



Figura 10 - Nível de Qualidade Jitter

4.5 MÉTRICA DE *QOE*: SSIM

Em inglês *Structural Similarity*, traduzida significa semelhança estrutural, o índice de semelhança estrutural é um método para medir imagens. O índice de SSIM é uma métrica de referência completo, onde há medição da qualidade da imagem com base em uma outra imagem original sem nenhuma distorção. O SSIM é projetado para melhorar métodos tradicionais como o PSNR são quase imperceptíveis ao olho humano.

O SSIM considera a degradação da imagem como mudança percebida em informações estruturais. A informação estrutural é a ideia de que os pixels têm fortes interdependências, especialmente quando eles são espacialmente próximos. Estas dependências levam informações importantes sobre a estrutura dos objetos na cena visual.

Na Figura 10, há uma comparação entre a mesma imagem, utilizando a métrica de SSIM como comparativo, onde é possível verificar a imagem original, a segunda imagem com o nível de SSIM muito baixo e a terceira com um o nível de SSIM bem próximo do ideal, e fica perceptível a diferença na qualidade da imagem.

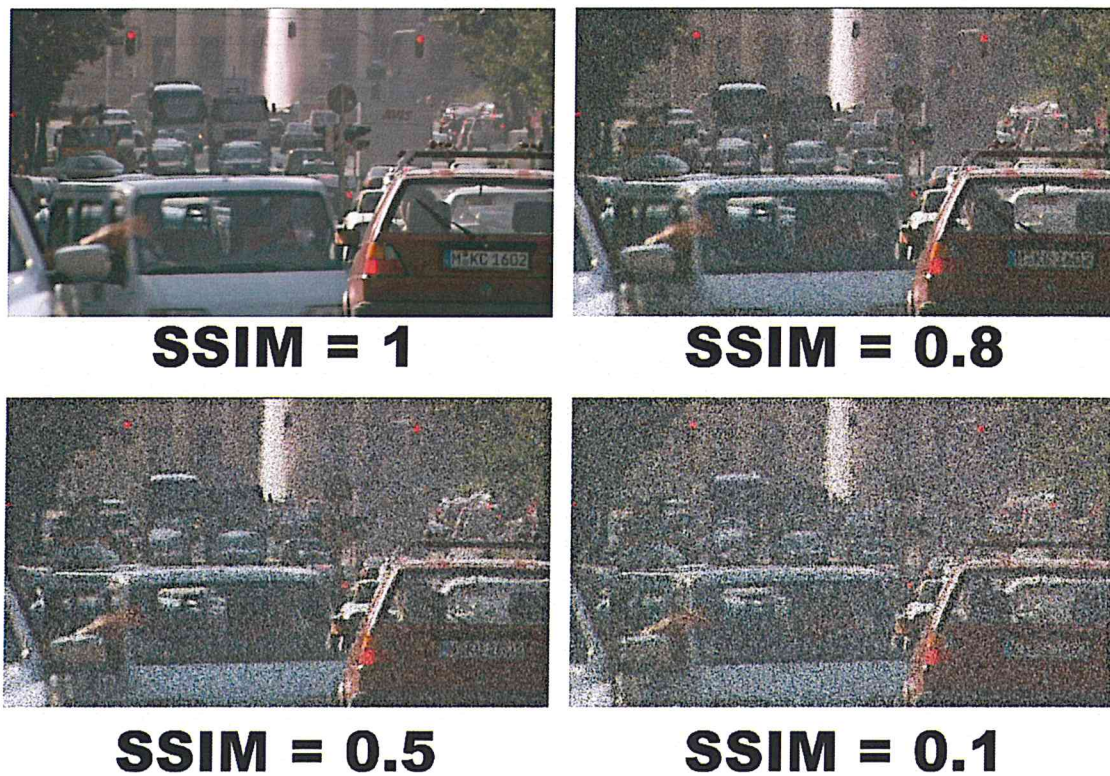


Figura 11 - Nível de Qualidade SSIM

4.6 MÉTRICA DE QOS: ATRASO FIM A FIM

O atraso fim a fim, é uma métrica indispensável quando estamos fazendo uma análise em uma rede, pois ele é a diferença entre o tempo que o transmissor envia o primeiro bit do pacote a ser transmitido ao instante que o receptor recebe este bit.

Para entender o conceito, suponha que haja $N - 1$ roteadores entre a máquina de origem e a máquina de destino. Imagine também que a rede não esteja congestionada (e, portanto, os atrasos de filas sejam desprezíveis), que o atraso de processamento em cada roteador e na máquina de origem seja D_{proc} , que a taxa de transmissão de saída de cada roteador e da máquina de origem seja R bits/s e que o atraso de propagação em cada enlace seja de D_{prop} . Os atrasos nodais se acumulam e resultam em um atraso fim a fim:

$$D_{fim\ a\ fim} = N (D_{proc} + D_{trans} + D_{prop})$$

Onde, mais uma vez, $D_{trans} = L/R$ e L é o tamanho do pacote. [30]

A Figura 11, exemplifica o atraso que pode ocorrer em uma rede de computadores, pois o arquivo é transmitido do servidor de vídeo, poderá passar por um

ou vários roteamentos, posteriormente poderá passar por um ou mais nós dentro da rede até chegar a sua reprodução.

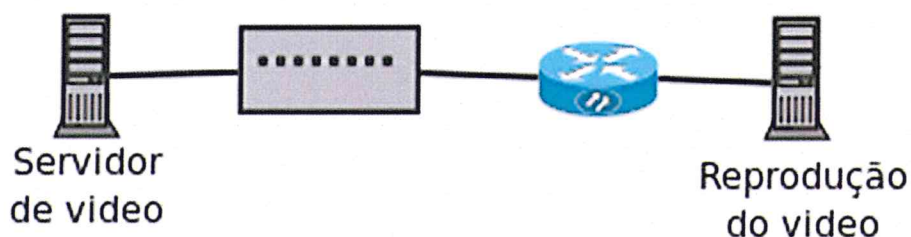


Figura 12 - Representação rede

4.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como visto neste capítulo, as métricas utilizadas neste trabalho, são para que possa ser feita uma análise completa de QoS/QoE da rede que será montada. Possibilitando assim verificar a qualidade do vídeo, comparando o vídeo original com os que foram transmitidos.

Vale ressaltar que para que a análise seja realizada de forma eficiente, é necessário que durante a campanha de medições o vídeo seja transmitido várias vezes, e que toda vez que haja uma transmissão o vídeo seja reconstruído e comparado com o original, e assim verificar a qualidade da transmissão para todas as variáveis anteriormente citadas neste capítulo.

A seguir, no próximo capítulo, será abordado sobre a metodologia escolhida e realizada para o bom prosseguimento do trabalho, quais os passos que tiveram que ser obedecidos para que a campanha de medições fosse realizada até a obtenção do resultado final.

CAPITULO 5 – METODOLOGIA

5.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A metodologia proposta nesse trabalho é mostrada através das seguintes etapas: coleta dos resultados do experimento, esses resultados são usados como entrada nas redes bayesianas para gerar mapas de probabilidade, então esses mapas são convertidos em informação para permitir a análise do comportamento das métricas de *QoE/QoS* em redes sem fio e auxiliar no planejamento de redes *indoor*, contudo foram implementados as somente as etapas que estão dentro da linha tracejada, conforme mostra o fluxo na Figura 12, uma vez que o resultado se mostrou satisfatório.

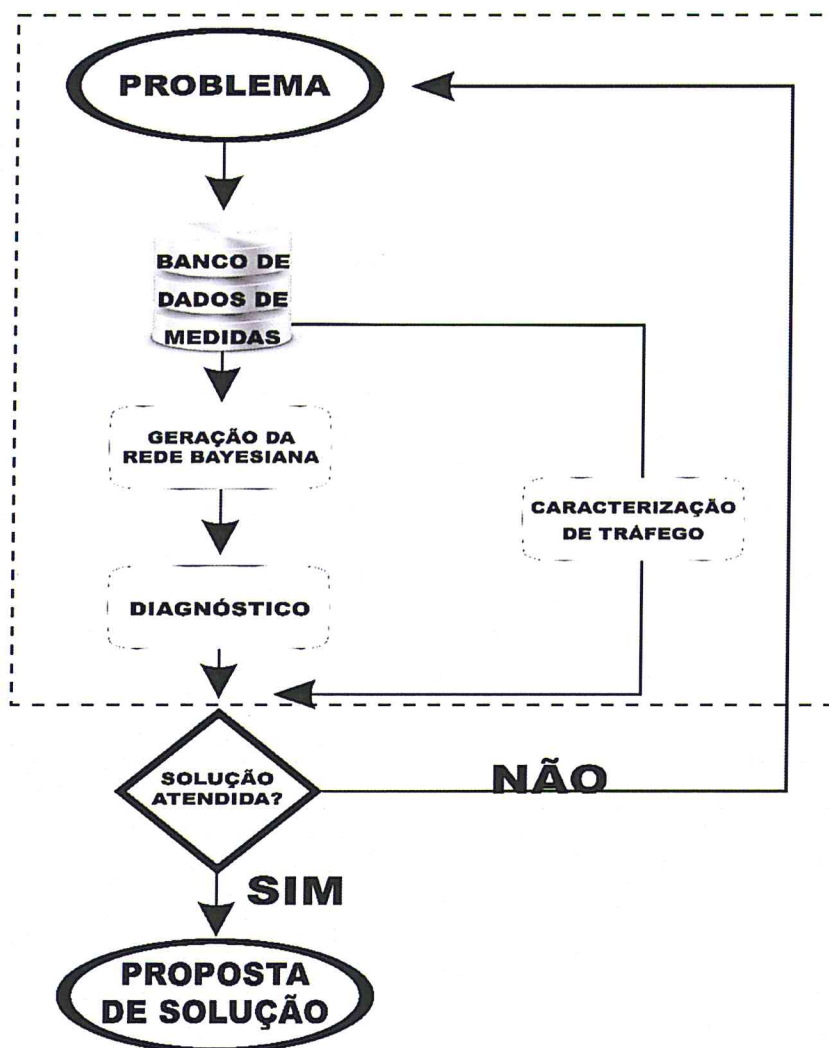


Figura 13 - Fluxo de Metodologia

5.2 PROBLEMA

No planejamento de redes sem fio não há uma fórmula matemática que comprove a eficiência da instalação exata do PA em algum ponto de uma planta de um ambiente *indoor* para que consiga abranger toda área útil do prédio. Então é comum a indústria contar com profissionais experientes para o planejamento da rede.

Contudo frequentemente é encontrado, seja em ambientes domésticos ou ambientes comerciais, PA localizados em mesas, armários, ou em locais sem nenhum planejamento prévio para eficiência da cobertura de sinal no ambiente no qual está instalado o PA.

E por esse motivo, principalmente os usuários domésticos, instalam os PA perto de locais que possuam um ponto elétrico para alimentação do equipamento, sem levar em consideração as barreiras do ambiente, e conseqüentemente as interferências que elas geram na transmissão do sinal.

Sendo assim, possivelmente o desempenho da rede sem fio, sem o planejamento prévio, não alcança a eficiência desejada, com isso o usuário final ficará insatisfeito e o responsável pela rede terá problemas constante para suprir a necessidade do local onde a rede está posicionada.

5.3 BANCO DE DADOS DE MEDIDAS

Para a construção do banco de dados de medidas, foi necessário mapear todo o prédio selecionado, saber exatamente do que era constituído, qual o material das paredes, se possuía espelhos, vidros, ou qualquer material que por algum motivo pudesse ocasionar interferência significativa na recepção do sinal, a ponto de atrapalhar a experiência do usuário (maiores detalhes no capítulo 6).

Então, de forma proposital, foram mapeados vários pontos a serem medidos, na campanha de medições, e cada ponto foi posicionado propositalmente entre as barreiras para que durante a transmissão/recepção do vídeo pudessemos catalogar o que acontece com a potência de sinal do transmissor, e qual o comportamento do arquivo que estava sendo transmitido, no caso o vídeo.

Para isto, a cada parede encontrada no meio do ambiente, era mapeado um ponto de medida, em seguida ao atravessar a parede era mapeado outro ponto de medida. O material também poderia influenciar na transmissão do vídeo, então nas paredes de tijolos foram posicionados pontos antes de passar o sinal e depois de passar o sinal, bem como nas paredes de outros materiais, como a madeira.

Como o prédio possuía um corredor, foram alocados pontos de medidas dentro das salas de aula, e pontos de medidas foras das salas de aula, com isso foi possível catalogar o comportamento do sinal e do vídeo transmitido logo após ultrapassar a barreira.

No total foram repetidos 16 vezes o mesmo procedimento, o transmissor do aplicativo Evalvid envia o vídeo original para o cliente receber, durante o *download* eram catologados três vezes a potência de sinal, antes do início do recebimento, durante e logo após o final do *download*, para analisar a existência de alguma ocorrência ou oscilação do sinal.

Após o recebimento eram geradas vários arquivos de dados, era então reconstruído o vídeo e verificado se houve alguma perda de pacote, e assistido o vídeo recebido para que pudéssemos verificar a experiência do usuários, ou seja, se o vídeo poderia ser assistido sem nenhum prejuízo, ou se estava apresentando falhas que dificultassem o entendimento do conteúdo.

5.4 GERAÇÃO DA REDE BAYESIANA

Para a geração da Rede Bayesiana, foi utilizado o banco de dados de medidas, entretanto devido ao alcance do PA utilizado não foi possível catalogar todos os pontos mapeados previamente (mais detalhes no capítulo 6), prejudicando assim a criação de um rede satisfatória.

Contudo utilizando do artifício de simulação de dados para complementar o banco de medidas, foi utilizada a ferramenta Matlab® para que, através de uma função de uma rede neural artificial (*Radial Base Function*) fosse expandido os dados a fim de criar uma base de medidas suficiente para realização de treinamento e validação de resultados.

Então com a base de medidas composta com registros suficientes, foi gerada a Rede Bayesiana, onde foram encontradas as variáveis e localizados os padrões: RSSI, PSNR, Jitter, SSIM, Atraso fim a fim e Distancia, foco desta dissertação.

Utilizando a técnica da Rede Bayesiana de inferência por diagnóstico, foi utilizada a variável de distância para analisar causas/efeitos dependentes as outras variáveis, por esse motivo então a rede ficou em função da distância, pois quanto maior a distância poderia causar falha no recebimento do vídeo.

Com a Rede Bayesiana devidamente montada, em função da distância, foi realizada inferências para cada uma das variáveis selecionada como foco deste estudo,

afim de obter matrizes probabilísticas ao final de cada inferência e assim gerar os mapas de calor que demonstram graficamente com riqueza de detalhes o comportamento da rede sem fio criada para a transmissão e recepção do vídeo.

5.5 DIAGNÓSTICO

A finalização do estabelecimento de correlações pode ser a base de uma tomada de decisão pelo administrador da rede sem fio, que é o nosso usuário especialista.

Então na fase de diagnóstico serão interpretado os resultados gerados na saída da rede bayesiana, para a realização desta fase é necessária as matrizes geradas e a geração dos mapas de probabilidades, no caso desta dissertação representada pelos mapas de calor (demonstrados no capítulo 7 de resultados).

Entre as várias técnicas de inteligência computacional para a correlação de variáveis, as Redes Bayesianas se destacam como modelos probabilísticos de gráficos para a representação do conhecimento e raciocínio em áreas onde há incertezas. [31]

Como demonstra no fluxo criado para expressar a metodologia, são realizados ciclos, várias medições, depois do processamento da base de medidas são gerados o resultados, se o diagnóstico foi favorável é realizado a proposta de solução.

5.6 CARACTERIZAÇÃO DE TRÁFEGO

Para a caracterização do tráfego, foram utilizadas várias ferramentas afim de mapear a rede sem fio criada, e poder realizar a análise minuciosa enquanto o transmissor enviada o vídeo, e o receptor realiza o recebimento.

No capítulo 6 (onde é detalhada cada ferramenta), é possível verificar o desempenho de cada ferramenta manuseada durante a transmissão e recebimento do vídeo, pois é necessário para a propor a solução o controle de todas as variáveis existente no problema.

Como o trabalho propõe o auxilio no planejamento de redes sem fio, então é de fundamental importância verificar como cada variável, escolhida para a criação da Rede Bayesiana, se comporta durante a transmissão desde o nível de potência de sinal recebido, até após a reconstrução do vídeo, depois da transmissão, analisar o vídeo assistindo, para observar se ouve algum tipo de interferência, ou seja, se o vídeo ficou nítido, se está apresentando falhas, etc.

5.7 PROPOSTA DE SOLUÇÃO

Com base no problema encontrado, então são utilizados os dados da base de medias como entrada da rede bayesiana, e após o treinamento é realizado o diagnóstico, caso a solução tenha alcançado os resultados esperados é proposto a solução.

Contudo, foram feitas várias campanhas de medições e várias expansões de dados para que pudéssemos chegar a base de dados ideal para o trabalho, e assim realizar o treinamento e análise das variáveis proposta e o alcance dos resultados esperados.

Como a Rede Bayesiana é um modelo probabilístico, a solução seria mostrar ao administrador da rede sem fio em quais pontos, do prédio medido, seriam adequados para a instalação de PA, para que a área de cobertura tivesse um alcance máximo, e a qualidade suficiente para não atrapalhar a experiência do usuário.

5.8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo foi explicado a metodologia empregada nesta dissertação, descrevendo todas as etapas envolvidas, justificando a utilização de cada uma destas etapas com sua respectiva importância para o processo como um todo. Bem como as consequências de cada uma das etapas até o término do processo para determinar uma solução aceitável. No próximo capítulo, será detalhada a campanha de medições, onde será possível verificar como realizou-se a metodologia proposta deste trabalho e as influências da transmissão e recepção do vídeo em um ambiente *indoor*.

CAPITULO 6 – CAMPANHA DE MEDIÇÕES

6.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Para que houvesse precisão quanto ao planejamento de rede sem fio em ambientes fechados, foi necessário a obtenção de dados referente a medidas de uma rede em um cenário real, onde através destes dados pudéssemos verificar quais os impactos causados na qualidade de serviço ofertado.

Para a campanha de medições foi criada uma rede WLAN, no prédio de aulas da Universidade Federal do Pará (UFPA), e foi utilizado um ponto de acesso para conectar vários computadores, e utilizados softwares para que pudessem ser realizadas os experimentos e obter os dados para estudo.

6.2 EQUIPAMENTOS E FERRAMENTAS UTILIZADAS

Como a proposta do trabalho é obter dados para auxiliar no planejamento de uma rede sem fio em um ambiente fechado, um vídeo foi selecionado para que pudesse ser transmitido dentro da rede de um computador A para o computador B, e obter os parâmetros de qualidade de sinal, qualidade de vídeo, atraso durante a transmissão.

Para isto, foi utilizado o Evalvid, ferramenta muito utilizada para obtenção de dados de qualidade de vídeo e métricas da rede utilizada, dados esses que darão base para o auxílio no planejamento da rede.

Os computadores utilizados possuem as seguintes configurações, dois unidades com processador: core I5 2.4 GHz; memória RAM (*Random Access Memory*) de 4GB (GigaByte), HD (Hard Disk) de 500GB; placa de vídeo integrada na placa mãe do computador, com até 516G de memória RAM compartilhada e sistema operacional Windows 7 64bits; equipamentos esses que foram instalados a ferramenta Iperf para que na rede tivessem o tráfego concorrente.

Os outros dois computadores com processador AMD A6 3410mx; placa de vídeo radeon hd grafics 1.6 GHz; memória RAM de 4GB; HD de 500GB; e sistema operacional Windows 7 64 bits; nesses equipamentos foi instalado a ferramenta Evalvid onde um ficou o transmissor e o outro ficou o receptor, e no computador onde estava o receptor foi instalado também o programa *WirelessMon*.

E para a rede foi utilizado um roteador modelo Evo-W301AR (SIROCO), Canal 3 (2422 MHz) - modo: 802.11g - largura do canal 20 MHz, taxa de transmissão máxima 54 Mbps e Potência de transmissão 20 dBm.

Na figura 13, temos os computadores que foram instalados o Iperf para transmissão de tráfego concorrente, e o computador transmissor do vídeo original, disposto na sala 1 do prédio escolhido como caso de uso para a campanha de medições.

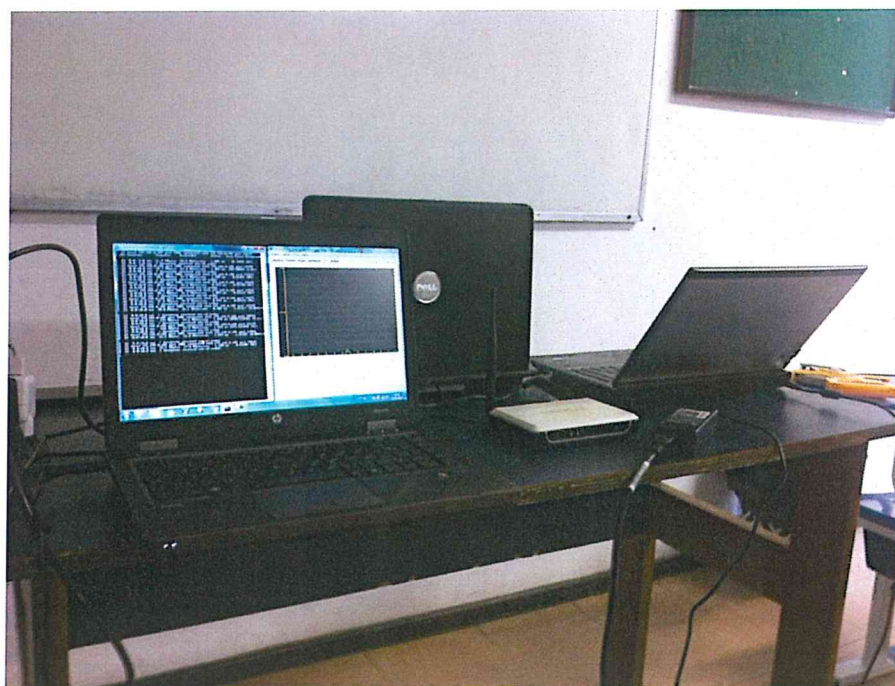


Figura 14 - Computadores dispostos na Sala 1

6.2.1 Evalvid

Em [32], EvalVid é uma estrutura com um conjunto de ferramentas unificada para uma avaliação da qualidade de transmissão de vídeo, possui uma série de módulos, o que torna possível a troca de usuários utilizando o critério de sistema de transmissão subjacente, bem como os codecs, por isso é aplicável a qualquer tipo de esquema de codificação, e pode ser usado tanto em reais arranjos experimentais e experiências de simulação.

As ferramentas são implementadas com codecs para máxima portabilidade. Todas as iterações com a rede são feitas através de dois arquivos de rastreamento. Por isso é muito fácil de integrar EvalVid em quaisquer ambientes.

A Figura 14, demonstra a transmissão completa de um vídeo digital é simbolizado a partir da gravação na fonte através da codificação, empacotamento, transmissão através da rede de redução de jitter, decodificação e exibição para o utilizador, onde os dados são aproveitados a partir do fluxo de transmissão. Esta informação é armazenada em vários arquivos. Esses arquivos são usados para coletar os resultados

desejados, por exemplo, uma taxa de perda de pacotes, a taxa do jitter e de qualidade de vídeo. Uma grande quantidade de informação é necessária para calcular esses valores.

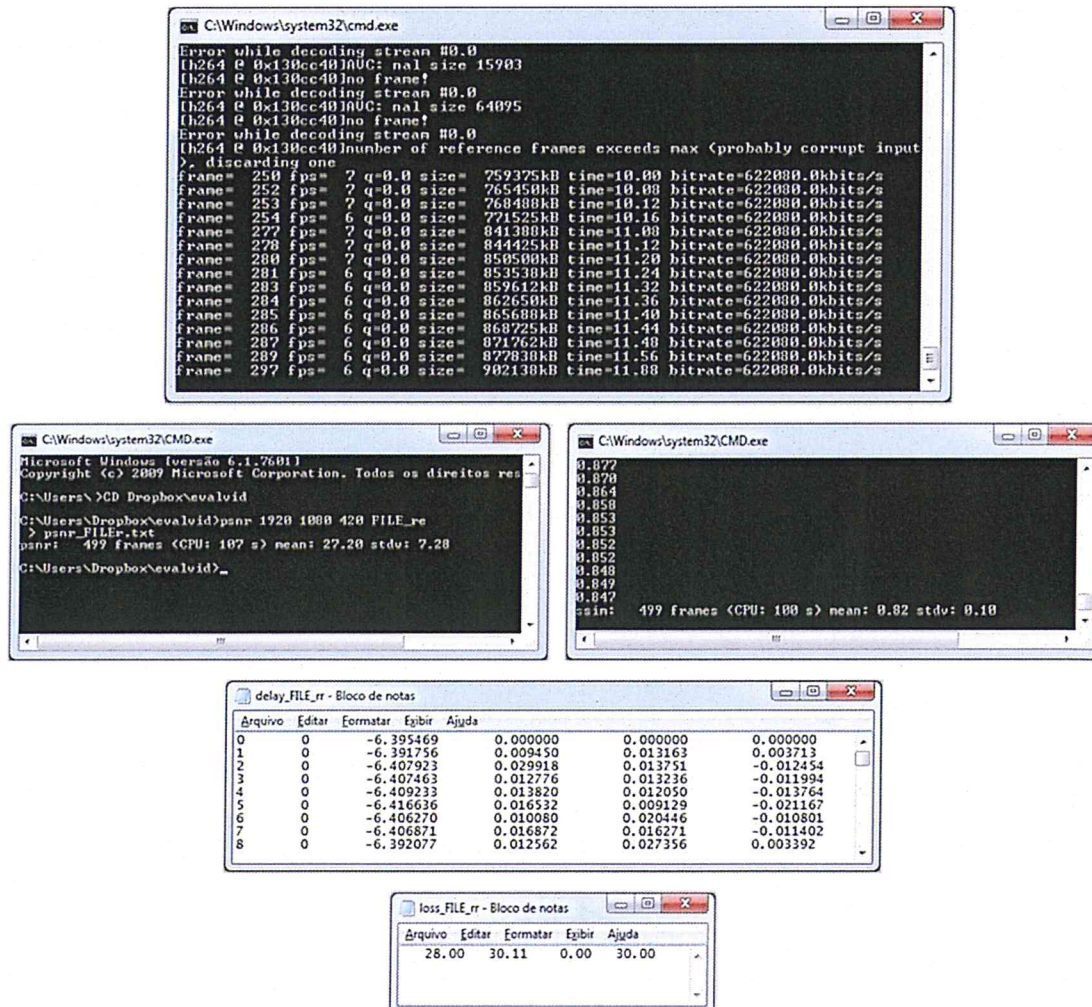


Figura 15 - Representação da transmissão

A avaliação destes dados é feito no lado do emissor, de modo que o informações do receptor tem que ser transportado de volta para o remetente. De interesse prático é que o vídeo não comprimido pode ser muito grande.

Contudo, é possível reconstruir o vídeo para ser exibido a partir da informação disponível no lado do remetente. A única informação adicional necessária do lado do receptor é o arquivo que contém as marcas de tempo de cada pacote recebido.

6.3 CAMPANHA DE MEDIÇÕES

Foram realizadas várias campanhas de medições para a criação de uma base dados sólida, campanhas estas realizadas no segundo andar do prédio de sala de aulas da UFPA, com uma dimensão de 40x11 metros, é constituído com seis salas com 6x8 metros cada sala de aula e cada sala possui cadeiras de material plástico e metal.

6.3.1 Composição do Prédio

O prédio é composto de tijolo e concreto, possui um corredor lateral, e as salas contem em uma lateral madeira e vidro e do lado oposto janelas de vidro conforme figura 15. Estas características podem interferir na transmissão do sinal.



Figura 16 - Composição dentro e fora do Prédio

6.3.2 Calculo da Largura de Banda

Para determinar a largura de banda que o PA oferece, é necessário verificar o máximo da banda que este pode alcançar apesar de estar especificado pelo fabricante no ambiente prático o PA não chega a sua transmissão máxima, devido a quantidade de interferências existente no meio de comunicação, além da perda de performance com a distância entre o receptor e transmissor.

Então para o cálculo, foi utilizado o seguinte método: utilizado um aplicativo cliente, em um notebook A, e outro aplicativo servidor no notebook B, da ferramenta

Iperf, foram conectados em uma rede no mesmo PA. Logo foi criado um fluxo transmissão de dados, com o máximo da banda especificado pelo fabricante, e assim anotado o valor que o PA suportou transmitir na rede.

Utilizando a rede criada foi transmitido o arquivo e monitorada a rede para saber exatamente quanto em MB (MegaBytes) seria ocupado de banda, e assim obtido exatamente qual o valor que o vídeo necessita para ser transmitido sem interferência na qualidade da imagem.

6.3.3 Vídeo Transmitido

Para que as medições realizadas estivessem em conformidade com a codificação de TV Digital (para que o estudo possa ser realizado em outros estudos de caso), os vídeos transmitidos foram no formato MPEG-4 (*Moving Picture Experts Group*) *Widescreen* 16:9 e com resolução de 1920x1080p, resolução FullHD.

Na figura 16 é possível visualizar um *frame* do vídeo escolhido para a transmissão, é um vídeo com duração de 20 segundos para que a transmissão entre o transmissor e o receptor não demore muito tempo, devido a quantidades de pontos a serem medidos.

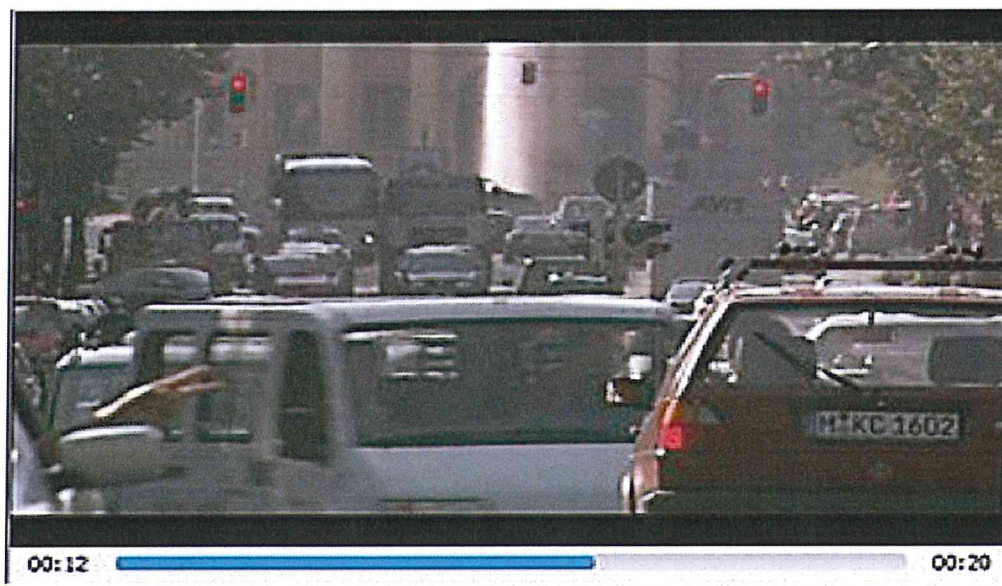


Figura 17 - Vídeo Original

O vídeo foi escolhido devido a sua qualidade, e também por conta da movimentação existente, pois este tem um cenário de uma rua onde estão vários carros passando, existindo então uma movimentação altíssima, perfeito para a análise de qualidade de experiência no momento da reconstrução ao final do *download* no receptor.

Então no momento que o vídeo foi transmitido com falhas é logo perceptível, com a aparição de pixel cortados e embasamento na imagem, conforme podemos verificar na figura 17, no canto inferior esquerdo, dificultando a interpretação do usuário que está assinto e consequentemente causando um desinteresse na continuidade da experiência do usuário

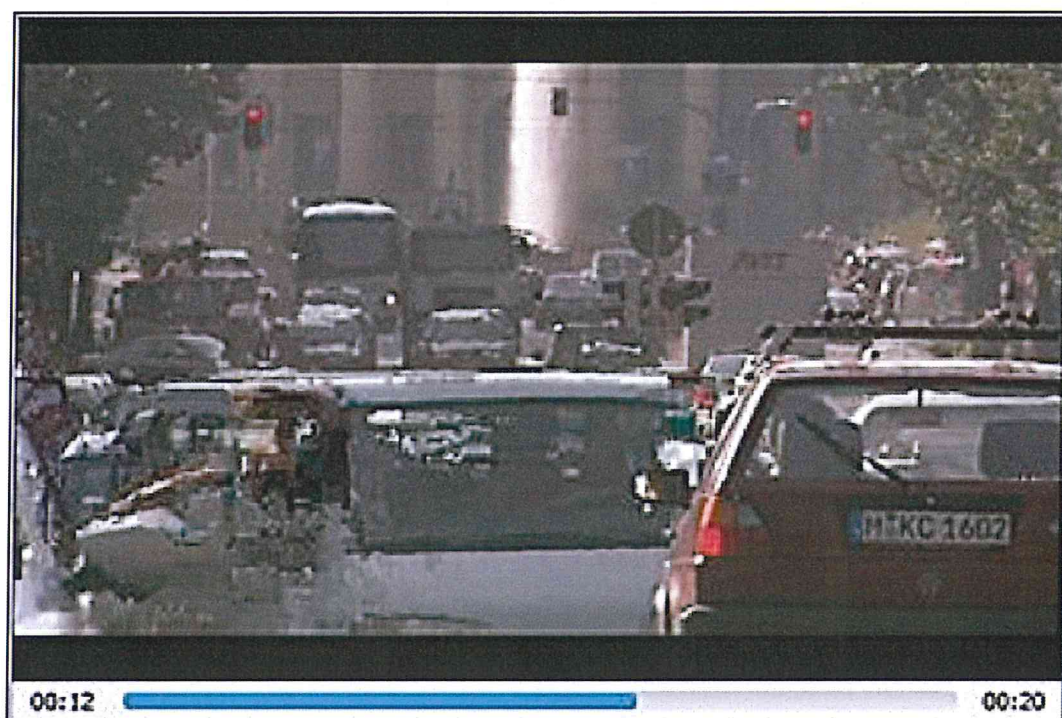


Figura 18 - Vídeo com ruído

6.3.4 Cenário de Medições

A rede WLAN criada utilizou os seguintes equipamentos: um PA, dois notebooks para a transmissão e recepção do vídeo e dois notebooks para a utilização do simulador de tráfego concorrente com o software Iperf e para a medição do nível de potência de sinal no receptor foi utilizado o programa *WirelessMon*.

Na campanha de medições foi instalado o PA na sala de número 1, juntamente com três *notebooks*, sendo que dois para a utilização do Iperf, e o terceiro foi utilizado para a transmissão do vídeo.

O quarto e último *notebook* ficou sendo posicionado em cada um dos pontos mapeados conforme figura 18, recebendo o vídeo. Após a recepção o vídeo foi reconstruindo para verificar a qualidade da transmissão, este notebook foi responsável também pela captura do nível da potência de sinal com a ferramenta *WirelessMon*.



Figura 19 - Pontos a serem medidos inicialmente

Os pontos mapeados na sala de aula foram escolhidos de forma aleatória, “sem nenhuma programação preliminar”. Contudo para efeito de conhecimento e acompanhamento do sinal recebido, foram posicionados propositalmente de acordo com o material apresentado na estrutura do prédio.

Como exemplo na sala 2, os pontos foram escolhidos próximo a parede constituída de tijolo, para que no momento dos resultados pudéssemos analisar exatamente o comportamento da qualidade da recepção do sinal e qualidade do vídeo quando reconstruído.

Houve também o mapeamento próximo as paredes de madeiras, que delimitam as salas para o corredor a necessidade de mapeamento de pontos para analisar o comportamento das variáveis logo após o sinal passar a barreira.

É perceptível que no corredor do prédio foram mapeados vários pontos, pois como o corredor é uma área aberta, houve uma preocupação de como se comportaria a recepção do sinal e consequentemente a recepção do vídeo.

Contudo durante a campanha de medições foi detectado que o alcance do ponto de acesso não cobria todos os pontos mapeados, ou seja, houve pontos no qual não se obteve sinal, ou o não havia qualidade suficiente para a transmissão do vídeo, por este motivo as medições ficam mapeadas conforme a Figura 19.

Durante a campanha de medições foi detectado também que devido à proximidade dos pontos mapeados no corredor, não havia uma diferença significativa entre o tempo de transmissão do vídeo e entre a potência de sinal recebida, por este motivo foram selecionados de três em três pontos para realizar a campanha de medições. Após descartar alguns pontos, foram medidos ao total durante a campanha de medições 16 pontos para gerar a base de dados com medidas em um ambiente real.

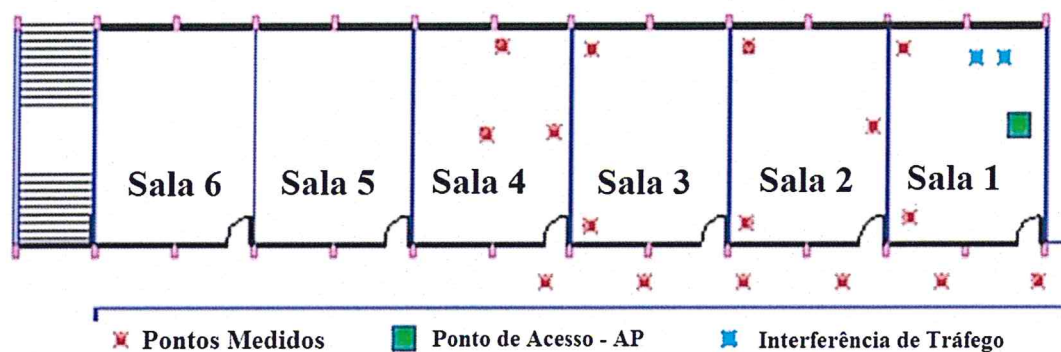


Figura 20 - Pontos medidos

Na Figura 19 é possível também verificar que na primeira sala 1, ficaram localizado os computadores no qual gerava interferência de tráfego na rede sem fio utilizada para a transmissão do vídeo.

Após o término das medições foram gerados muitos arquivos, estes arquivos continham os dados que geraram a base de medidas, contudo devido a cobertura do sinal não obtivemos medidas necessárias para a entrada da Rede Bayesiana.

Entretanto com a utilização do Matlab® [33] foi possível realizar a extensão da base de medidas, tratando a base real existente que pudéssemos criar uma rede bayesiana.

Apesar de ter gerado vários arquivos, cientificamente foram poucos pontos medidos para basear uma análise de uma metodologia. Contudo devido a área de cobertura do PA e o tamanho do prédio, não poderíamos ter feito mais medições, então como solução para estender a base foi utilizado o Matlab®.

Foi criado um programa que utilizou o recurso do Matlab® de uma micro rede neural artificial com a regressão através de uma RBF (*Radial Base Function*). A função *newgrnn*, que implementa o regressor generalizado, onde ela simula uma função gaussiana com cristas próximas aos pontos medidos, assim os pontos obtidos da regressão têm valores subestimados e valores bem estimados aos pontos próximos medidos, fazendo a expansão gradativa dos pontos para que a houvesse uma base de dados suficiente para que a Rede Bayesiana fosse aplicada.

Além disto, no programa houve a necessidade de uma suavização na geração dos pontos, através da utilização do parâmetro no Matlab® chamada de “*spread*”, para que a criação do novo ponto fosse aproximada, assim a regressão citada faria a criação do ponto simulando a cenário real, onde pontos próximos do ponto medido fique bons e longe do pior fique pior, conforme a Figura 20.

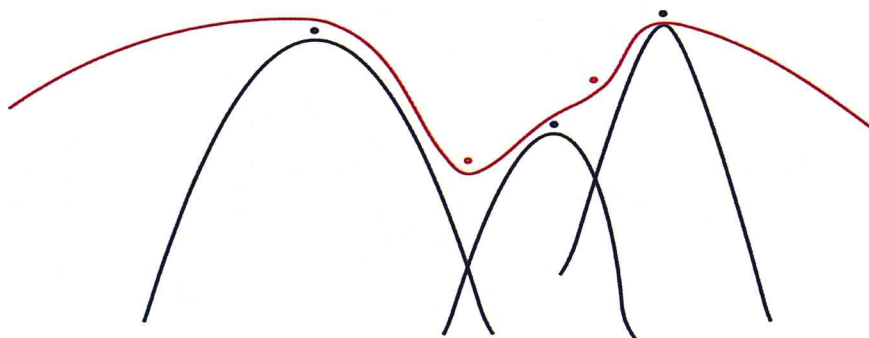


Figura 21 - Representação da gráfica da extensão dos dados

Onde é perceptível que os pontos em preto são os pontos medidos no prédio, de forma presencial, a linha delimitada em vermelho é justamente a suavização utilizada através da função *spread*, e os pontos em vermelho simulam a criação dos pontos que foram expandidos para consolidação da base de dados.

Por este motivo foi utilizada a extensão da base de dados para gerar a entrada da rede Bayesiana e assim rodar o programa *Bayesware*, como resposta o software gerava várias matrizes probabilísticas, e essas matrizes eram utilizadas para confeccionar os mapas de calor que são descritos com maiores detalhes no capítulo 6, onde é realizada a análise individual de cada mapa de calor.

6.4 IPERF

Para simular a utilização de um usuário concorrendo pela largura de banda disponível com a transmissão do vídeo na rede sem fio montada para este estudo, foi utilizado a ferramenta Iperf [34] (T-Iperf e R-Iperf) no modo cliente onde gera uma transmissão de dados.

Essa concorrência pela largura de banda ocorre entre o tráfego gerado pelo Iperf com o próprio tráfego da transmissão do vídeo. Onde através da ferramenta é criado um fluxo UDP (*User Datagram Protocol*).

A finalidade deste tráfego é caracterizar a rede com comportamentos mais próximos de uma rede real, onde há competição entre usuários pelos serviços da largura de banda disponível. Foi instalado em um notebook o TX-Iperf e em um outro notebook o RX-Iperf onde foram utilizados para transmitir e receber a aplicação Iperf na rede wireless.

6.5 WIRELESSMON

Para a colher o nível de potência recebida foi necessária a utilização da ferramenta *WirelessMon* [35]. A potência recebida foi coletada por um período médio de cinco minutos e cada procedimento foi realizado três vezes. Amostras do *frame* original e do *frame* com distorções.

WirelessMon oferece gráficos abrangente de 802.11 estatísticas da rede Wireless como o nível de sinal em tempo real. Podendo registrar todas as informações da rede sem fio que tenha sido recolhida em um arquivo, para fins de arquivamento e referência.

As informações da rede sem fio pode ser exibido quando disponível um recurso sobre o adaptador sem fio que está sendo monitorada, conforme a Figura 21.



Figura 22 - Telas do *WirelessMon*

6.6 BAYESWARE

O *Bayesware* versão para estudante foi o programa utilizado para a manipulação da rede Bayesiana, onde foi utilizado para carregar o arquivo de base de dados criada na campanha de medições, e posteriormente expandido através do Matlab®.

No programa *Bayesware*, carrega a base de dados, a partir de então é gerada a rede Bayesiana tendo como variável central a distância, e as arestas para as outras variáveis medidas (Atraso fim a fim, RSSI, SSIM, JITTER e PSNR – conforme visto no capítulo 4), e como resultado são geradas as matrizes de probabilidade utilizada para a geração dos gráficos de mapa de calor.

Na Figura 22, é possível verificar a base de dados totalmente carregada no *Bayesware*, onde na barra lateral é possível verificar a variável e seus respectivos valores probabilísticos divididos em quatro partes iguais, para que após a manipulação dos dados analisar o comportamento de cada variável de acordo com a distância percorrida.

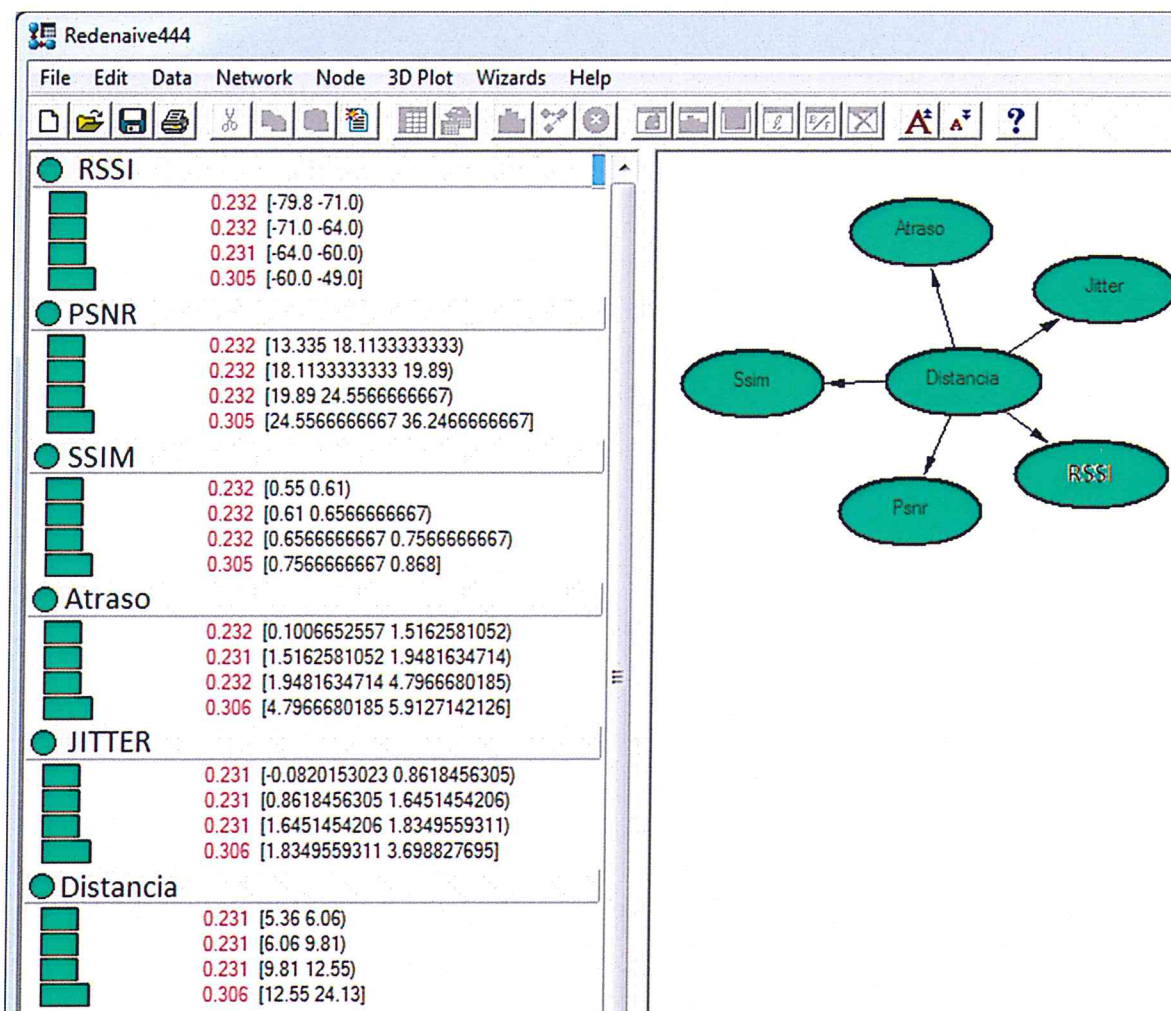


Figura 23 - Tela *Bayesware*

6.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo foi abordado sobre a campanha de medições, detalhando todos os passos que foram realizados e quais as adaptações que foram necessárias para a

continuidade do trabalho e quais as dificuldades encontradas para o término da base de dados.

Ainda foram detalhadas as ferramentas utilizadas, qual a sua importância durante o trabalho realizado e quais foram os resultados obtidos por essas ferramentas, a no próximo capítulo será abordado a quais foram os resultados encontrados, bem como sua análise.

CAPITULO 7 – RESULTADOS

7.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Este capítulo tem por objetivo mostrar os resultados obtidos a partir das medições de parâmetros de uma transmissão multimídia em uma rede sem fio. Serão demonstrados os resultados obtidos desde o tratamento dos dados até a aplicação da metodologia proposta. A descrição por meio de gráficos do comportamento das métricas de QoS/QoE, todas em função da distância entre o ponto de acesso e o receptor que estava nos pontos mapeados.

7.2 INFERÊNCIAS DAS VARIÁVEIS

A seguir, serão analisadas todas as variáveis utilizadas na rede bayesiana, bem como a interpretação dos dados referente às inferências realizadas na ferramenta utilizada, o *Bayesware*. Contudo, é necessário ressaltar que os valores das variáveis devem obedecer aos seguintes resultados:

- **Jitter**: Quanto menor o valor melhor a qualidade;
- **PSNR**: Quanto maior o valor melhor a qualidade;
- **Atraso**: Quanto menor o valor melhor a qualidade;
- **SSIM**: Quanto maior o valor melhor a qualidade;
- **RSSI**: Quanto maior o valor melhor a qualidade.

A Figura 23 exemplifica uma inferência que pode ser feita relacionando a variável de pior distância, ou seja, os valores nos intervalos de 12.55 a 24.13 metros, com a métrica RSSI. Observa-se que há 49.2% de probabilidade de estar entre os valores de: -79.8 e -71 dBm. Considerando ainda a variável de pior distancia, analisando a métrica PSNR encontramos uma probabilidade maior do que 70% do seu valor ser menor que 24.55 que é um valor de PSNR para vídeo já com alguma degradação.

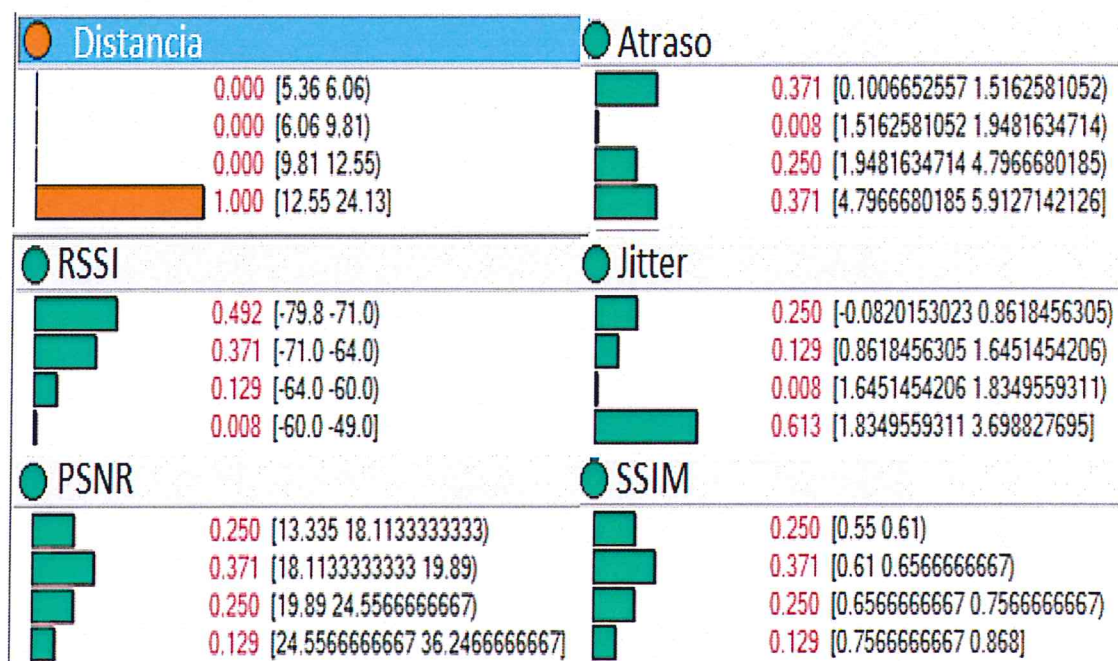


Figura 24 - Probabilidades Inicial Baseada em Distância

Analisando a variável de atraso, somando as duas últimas faixas chega-se ao valor de 62.1% de probabilidade de estar acima de 1.94 segundos. Enquanto a variável de Jitter tem 61.3% de probabilidade de estar entre 1.834 a 3.698 segundos. E finalmente a variável de SSIM tem uma probabilidade de 37.1% de estar entre os valores de 0.61 a 0.65.

Levando em consideração a interpretação dos dados realizados acima, na Figura 24, as variáveis podem ser analisadas por inspeção visual das inferências realizadas. Seleccionada para inferência a variável de levando em consideração os melhores valores de PSNR.

Verifica-se que a variável distância possui valores aceitáveis na primeira faixa de 0 a 5 metros. Enquanto a variável de atraso tem um valor mais estável em todas as faixas sofrendo pequenas variações. A variável RSSI, tem um seu valor medido em números negativos, e quanto maior a qualidade maior o valor, constata-se que o valor ficou na faixa de melhor qualidade, somando as duas melhores faixas, tem 69.1% de probabilidade da PSNR estar na sua melhor faixa quando o sinal está ótimo.

A variável Jitter, acompanha o desempenho da variável de atraso, uma vez que as duas possuem uma correlação entre si, somando as duas primeiras faixas, constata-se que tem 54.2% de ficar com seu menor valor de 0.1 a 1.94 segundos. E por fim a

variável de SSIM, somando as melhores faixas, tem a probabilidade de 64.2% em ficar com a maior qualidade.

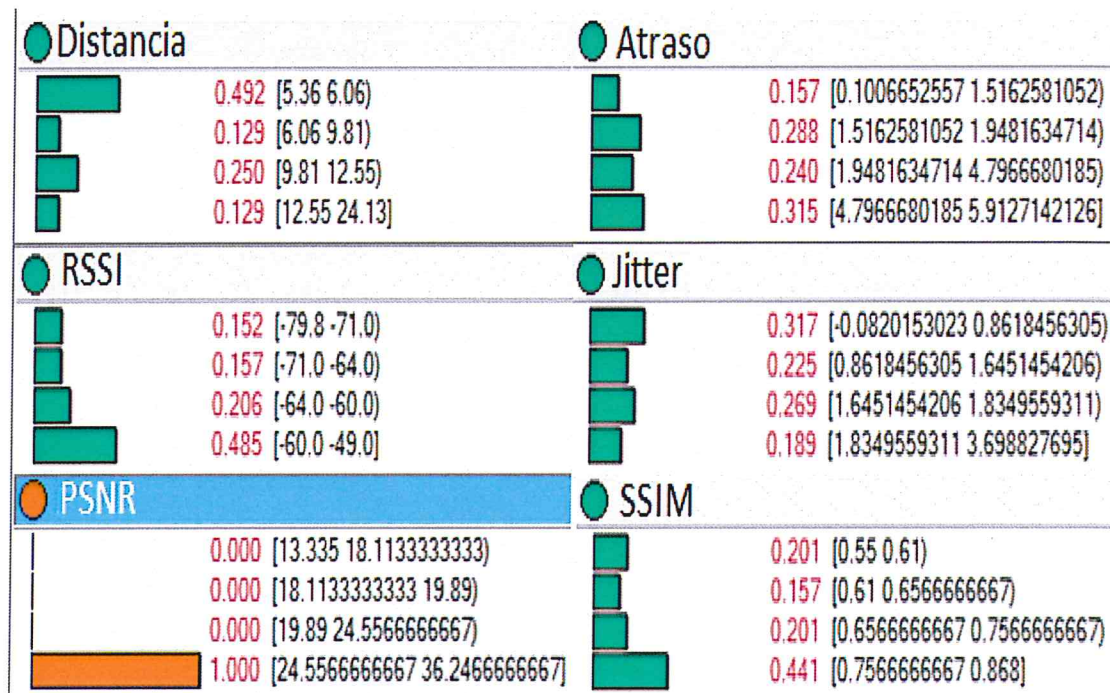


Figura 25 - Probabilidades Baseada PSNR

Com as tabelas de probabilidade condicional obtidas da rede bayesiana e tabelas de variância, uma simulação usando esse modelamento matemático foi desenvolvido e adaptado para métricas de QoE utilizando o Matlab®. Finalmente, os valores das métricas com a distância podem ser visualizados para analisar/predizer o comportamento da rede transmitindo vídeo.

7.3 RESULTADOS OBTIDOS

Nas figuras 25 até a figura 29, o eixo X representa a distância em metros, tendo como referência quanto mais próximo do valor 40, é a proximidade do receptor ao transmissor, e a simulação representa também o *layout* do pavilhão descrito no capítulo 6.

O eixo Y representa a largura das salas de aula e as cores representam o nível de probabilidade da métrica no qual o gráfico está analisando. Considera-se o referencial de início no eixo X a distância de 40 metros, isto é, percorre-se o pavilhão no sentido contrário da referência apresentada nas figuras, ou seja, a análise é realizada da direita para esquerda. Todos os valores de distância apresentados nesta seção seguem esse referencial.

Ressalta-se que, as paredes que dividem entre uma sala e outra é composta de tijolo, enquanto as paredes que dividem as salas para o corredor apresentado na planta são compostas de madeira e tem portas constituídas de compensado, e a parede que delimita o fim do prédio do lado apostado ao do corredor, possuem duas janelas de vidro em cada sala.

Para a métrica SSIM, como foi descrito anteriormente, quanto maior tem o seu valor melhor é a qualidade apresentada no vídeo transmitido, pois quanto mais próximo da imagem original o SSIM tende a ficar próximo de 1, conforme a Figura 25 demonstra, a predição através da simulação bayesiana com dados de medição mostra um comportamento acima de 0.68 em até 10 metros da sala 1.

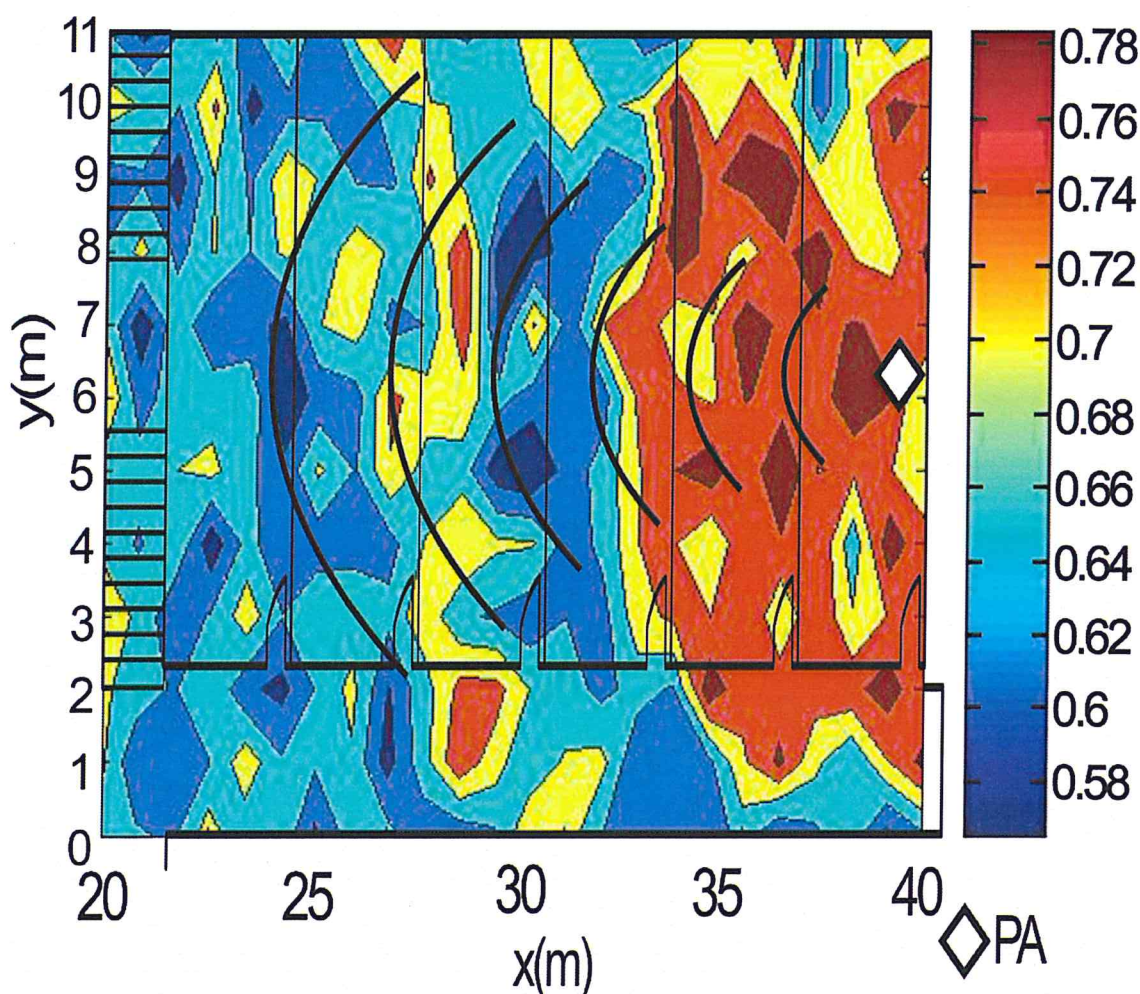


Figura 26 - Mapa de Calor Métrica SSIM

Para a métrica de atraso, como demonstra a Figura 26, apresenta um valor estável durante toda a transmissão do vídeo no experimento realizando, o que correspondente a menor que 2 ms em até 10 metros aproximadamente do PA, nota-se que em vários

pontos da planta existe uma alta variação do valor desta métrica, contudo não se verificou perda na qualidade do vídeo recebido, apenas um maior tempo para a recepção.

Devido ao atraso ser uma métrica matemática, quanto menor a variação de tempo entre a chegada dos pacotes, menor será a interferência para o usuário do vídeo original.

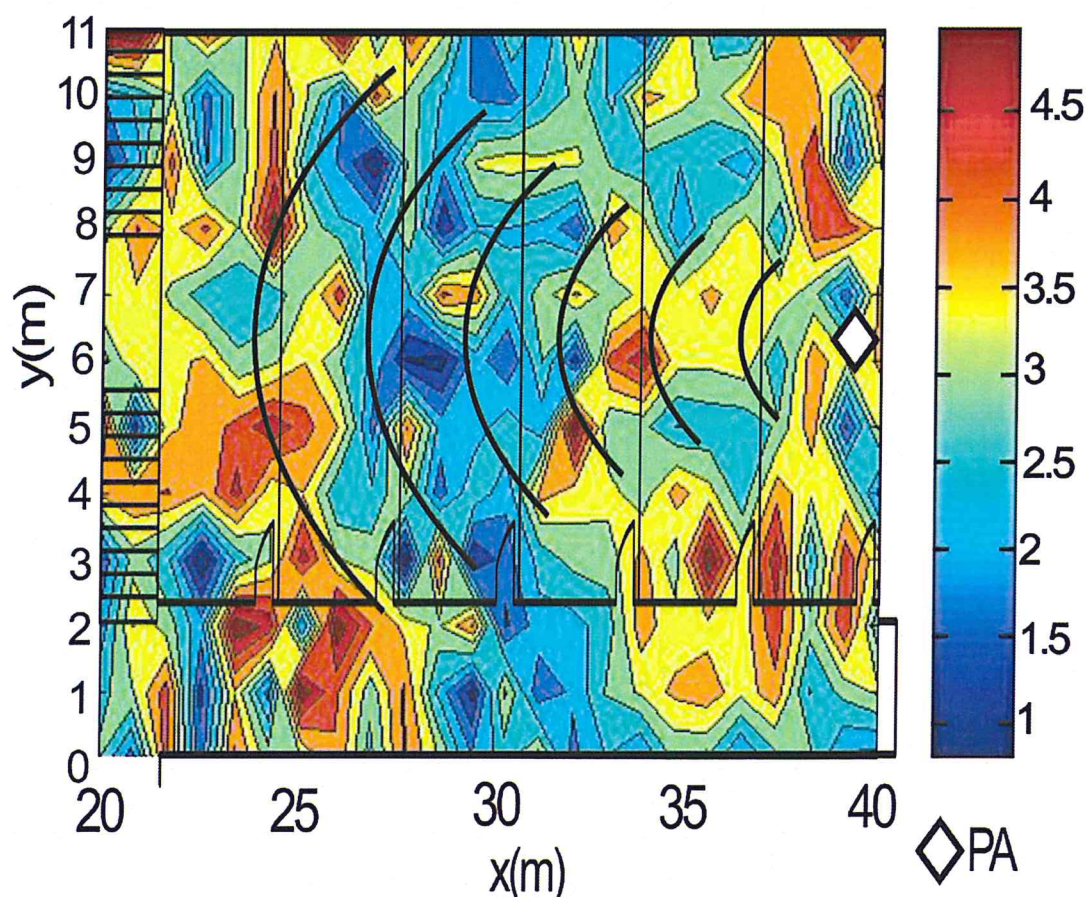


Figura 27 - Mapa de Calor Métrica de Atraso

Na figura 27, o *Jitter* acompanha as métricas anteriores, apresentando valores razoáveis em até 10 metros com valores menores que 1 segundo. Tendo uma piora significativa entre 10 e 20 metros que o acompanha até o final das salas. A melhora ou piora do *Jitter* depende da rede analisada.

É possível notar que a métrica de *Jitter* e a métrica de Atraso são correlacionadas entre si, devido as duas serem métricas dependem do tempo, onde o atraso calcula o tempo de chegada do pacote da saída até a chegada ao destino e a outra ser a estatística do atraso na entrega de dados na rede.

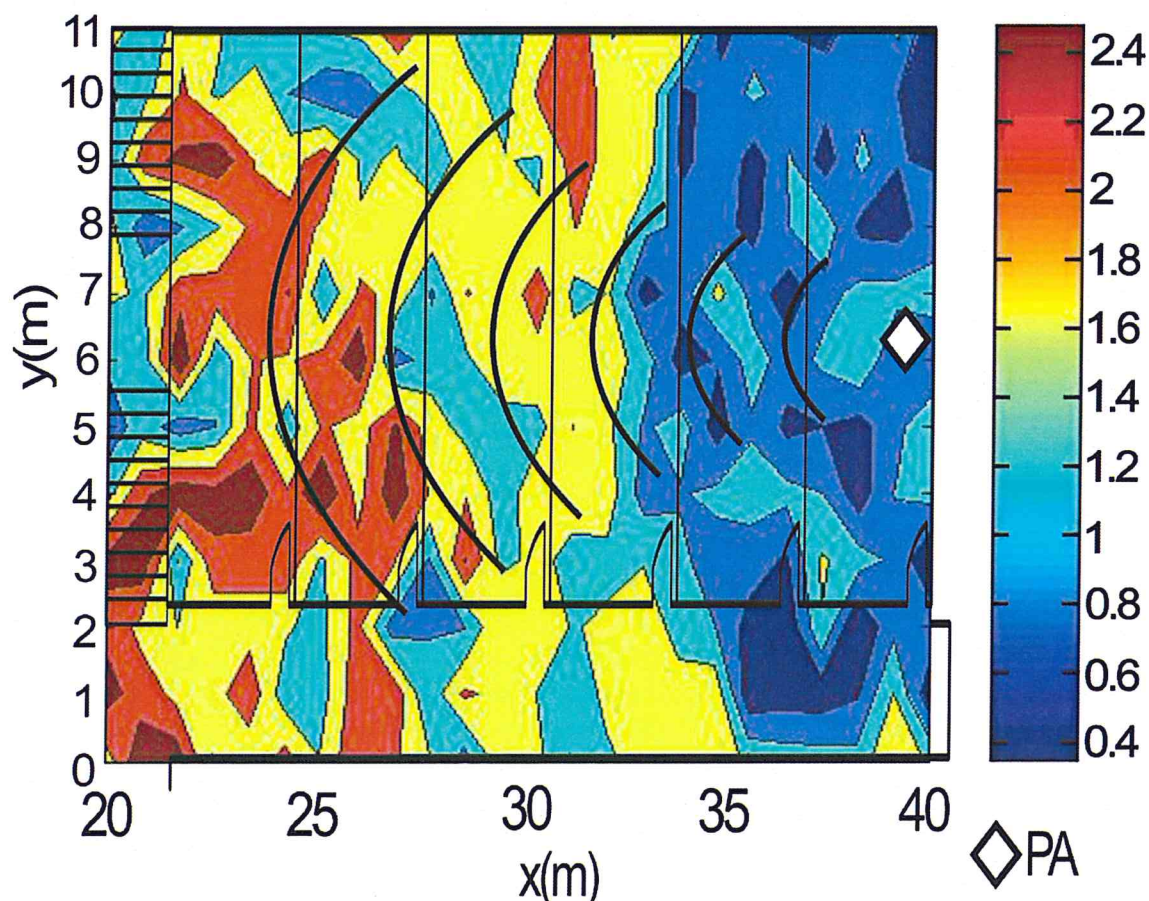


Figura 28 - Mapa de Calor Métrica de *Jitter*

Na figura 28, o PSNR também apresenta valores satisfatórios em até 10 metros, aproximadamente valores maiores que 26, e após 10 metros o valor decrementa até chegar ao valor considerado muito ruim.

Nota-se que existem faixas azuis ao final do corredor, e como foi explicado no capítulo 6, o sinal do PA utilizado para este experimento não alcançou aquela distância da planta. Então, existe a hipótese que durante a expansão, no momento da suavização dos pontos gerados para se aproximar dos pontos reais, para a geração da Rede Bayesiana, pode ter gerado pontos que deixaram a falsa impressão de sinal com ótima qualidade em lugares que não houveram medições.

Contudo, não há como desmerecer os resultados obtidos durante o experimento e que durante a reconstrução do vídeo no receptor, após rever o vídeo recebido constatou-se que existia uma qualidade indiscutível e que não houveram perdas significativas de pacotes e consequentemente na qualidade da imagem, proporcionando ao usuário que o assistiu total assimilação do fim que o vídeo se propunha.

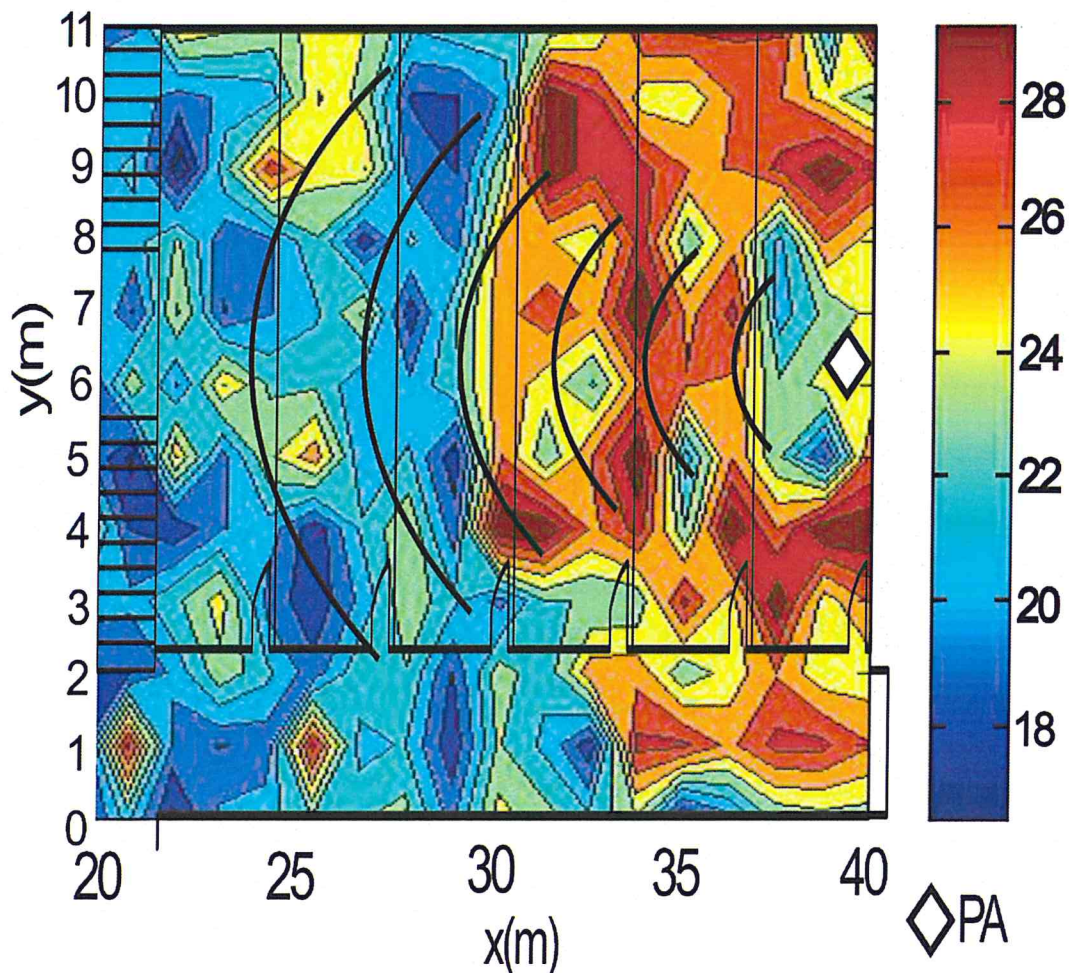


Figura 29 - Mapa de Calor Métrica de PSNR

Na Figura 29, o RSSI também apresenta valores altos em até aproximadamente 10 metros, acima de -60 dBm, ou seja, como a potência do sinal transmitido estava com uma excelente qualidade até 10 metros de distância do PA, consequentemente a probabilidade da rede sem fio montada apresentar o seu melhor desempenho tende a aumentar, com isso, como mostrado nas métricas de atraso e Jitter, a tendência é que os valores apresentados fiquem baixos, e como não há uma perda significativa nesta faixa que o sinal está excelente, as métricas de PSNR e SSIM possuem uma tendência natural de obter sua melhor qualidade.

Como visualmente as métricas tiveram um desempenho adequado em até 10 metros do ponto de acesso, nesse caso, a sugestão de planejamento é que se instale outros PAs a partir desse ponto de modo a atender as outras salas de aula satisfatoriamente com aplicações que usem vídeo.

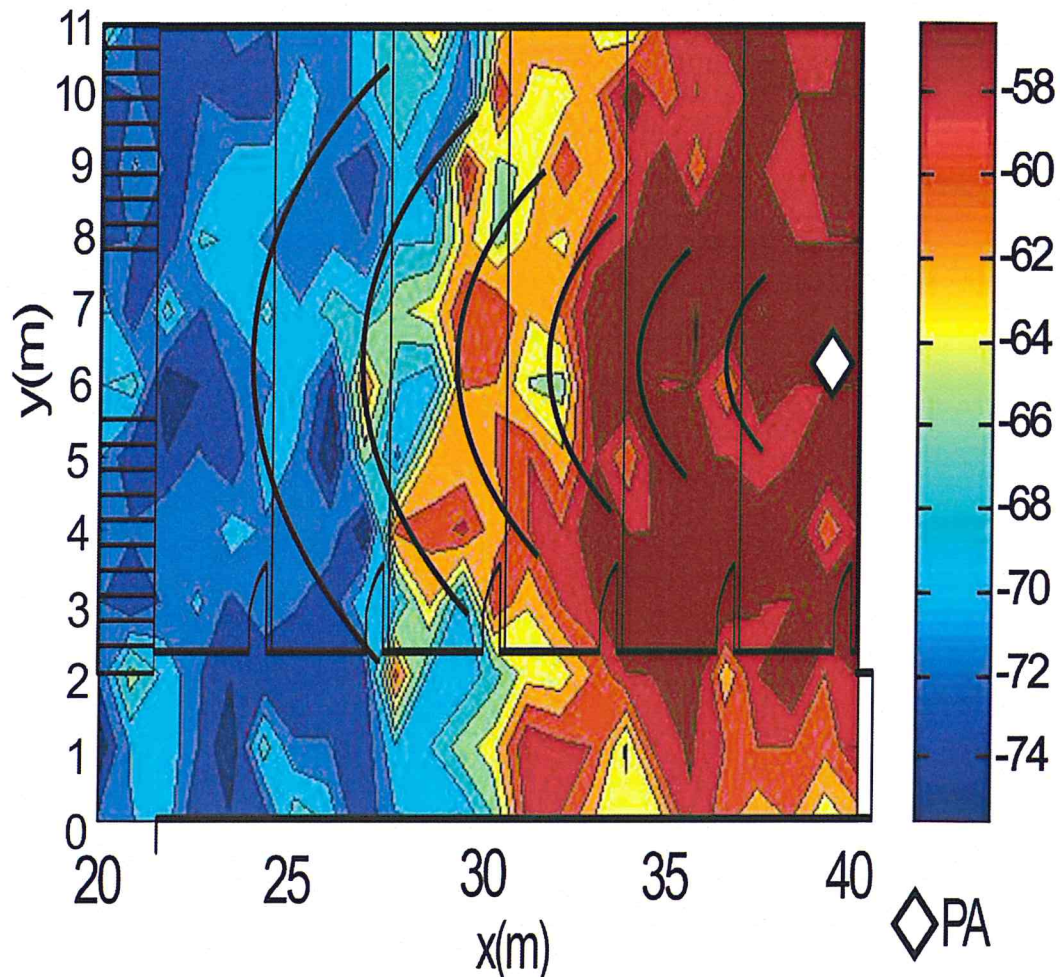


Figura 30 - Mapa de Calor Métrica de RSSI

Essa tomada de decisão baseou-se no uso de vídeo e para atender as métricas que medem o seu desempenho dentro de um padrão especificado. Assim, pode-se prever o comportamento das métricas e instalar os pontos de acesso para melhor atender os parâmetros de QoS/QoE.

Finalmente, esses mapas probabilísticos demonstram o uso da técnica híbrida: medição e bayesiana. E pode ser usada para analisar o comportamento de redes sem fio e auxiliar na análise de desempenho dessas redes levando em consideração tanto QoE quanto QoS de aplicações banda larga em crescimento em redes sem fio indoor.

7.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo foram demonstrados os resultados obtidos durante o trabalho realizado, a metodologia utilizada e os gráficos gerados, para que fosse realizada a análise dos dados obtidos.

Os mapas de calor, como são chamados os gráficos apresentados, foram explicados de acordo com o caso de uso escolhido na campanha de medições, e detalhada de acordo com cada variável escolhida como parâmetro de entrada na Rede Bayesiana. Os mapas de calor demonstraram que as probabilidades para cada uma das métricas estudadas, obtiveram um comportamento avaliado como ótimo por este autor.

No próximo capítulo, será detalhada a conclusão encontrada pelo autor, após todos os procedimentos realizados para a confecção desta dissertação, levando em considerações as análises expostas, bem como os resultados apresentados.

CAPITULO 8 – CONCLUSÃO

Esta dissertação apresentou uma abordagem de viés empírico e simulado no auxílio ao planejamento de redes sem fio baseada em medições de vídeo em ambiente interior nas instalações na UFPA.

Utilizando uma solução híbrida, com a utilização de campanha de medições em ambiente real, em um prédio físico com materiais encontrado no cotidiano dos usuários, tais como paredes (de tijolo e madeira), corredores, portas e janelas, este trabalho tenta solucionar problemas reais dos administradores e projetistas de redes sem fio.

Simulando a extensão dos dados, é possível então prever o comportamento que a rede sem fio terá dentro de todo o prédio, auxiliando na instalação de novos equipamentos e até mesmo auxiliar em quais equipamentos o projetista irá adquirir para a solução da sua rede.

Então, através dos resultados obtidos, constatou-se a viabilidade da ferramenta proposta, para o auxílio do planejamento de redes sem fio, sendo assim existe a possibilidade de obtendo a planta do prédio e fazendo prévia medições com tabelas probabilísticas prever exatamente quantos e quais equipamentos instalar.

Ainda analisando os resultados, foi possível constatar que os resultados do experimento durante a campanha de medições, que o PA utilizado apresentou um nível de RSSI excelente em até 10 metros de alcance, consequentemente as métricas escolhidas para o estudo apresentaram comportamento também excelente, como apresentado no capítulo 7.

Métricas de QoS tais como: JITTER e Atraso fim a fim, durante os 10 metros iniciais de alcance do PA, apresentaram números baixos, no caso específico de atraso obtive resultados inferior a 1 segundo, e como o JITTER é a variação deste das estimativas de atraso obtive uma rede próxima do ideal para tráfego de dados, demonstrando ao usuário que estava acessando uma sensação de rapidez e confiabilidade.

Contudo após os 10 metros, foi constatado para as métricas de QoS um declínio de eficiência, provocando assim um desconforto ao usuário que estava acessando a rede montada para este experimento, e o vídeo que era transmitido começou a apresentar falhas ao ser reconstruído.

Quanto as métricas de QoE tais como: PSNR e SSIM, acompanharam os excelentes resultados, e através dos resultados das inferências métricas anteriores,

durante os 10 primeiros metros do PA, ao ser reconstruído o vídeo transmitido, verificou-se a nitidez esperado se comparado o vídeo original, bem como a qualidade da imagem ao assistir o vídeo reconstruído.

Após os 10 metros, quando o sinal da rede começa a apresentar instabilidade, observou-se que o vídeo reconstruído em certos momentos apresentou falhas comprometendo a visibilidade em partes, e por vezes pouca nitidez.

Por sua vez, com os dados medidos no experimento realizado nesta dissertação, permite gerar um comparativo para experimentos futuros, com a expectativa de que em ambientes similares realizar o auxílio ao planejamento de uma rede sem fio. Para isto é necessário gerar uma base de dados de medidas consistente, e submeter a uma rede bayesiana com a possibilidade de realizar uma análise de acordo com as variáveis selecionadas e fazer inferência entre estas variáveis, e através dos resultados obtidos pelas inferências realizadas obter estimativas (quadro probabilísticos) de forma coerente e confiável ao projetista afim de auxiliar na tomada de decisão.

TRABALHOS FUTUROS

Como trabalhos futuros, pretende-se realizar mais campanhas de medições, contudo essas medições serão direcionadas em outros prédios, com arquitetura internas totalmente diferentes das arquiteturas presentes no prédio escolhido no para este dissertação.

Incluem-se também outros meios de comunicação, como nesta dissertação foi escolhido o ambiente indoor, seriam feitos confrontos de meios tais como ambientes abertos, e tecnologias tais como a 4G, tecnologias este que está em crescente expansão do cenário Brasileiro.

No momento do confronto de ambientes, seria inevitável, como consequência a realização também confronto na faixa de frequência que utilizada, pois utilizada nas frequências de 2,4 GHz a 5 GHz, baseada na no padrão IEEE 802.11 as redes sem fio enquanto o 4G é utilizado na frequência de 700 MHz no Brasil.

Além da análise dos dados nos ambientes diferentes, tentar utilizar a mesma metodologia de análise do ambiente indoor no ambiente outdoor, e verificar a viabilidade de soluções eficazes para auxiliar no planejamento da criação de novas redes, com a tentativa de prever os níveis de interferências existentes no meio de comunicação.

Há também a necessidade, de verificar a otimização da quantidade de aparelhos de PA, que seriam colocados nos ambientes, principalmente em ambientes indoor, onde as quantidades de barreiras são maiores. Assim a potência do sinal diminui e, por este motivo, são colocados repetidores de sinal para aumentar a potência e consequentemente a área de cobertura.

Então poderíamos verificar a ocorrências de *handoff*, nas redes indoor e utilizar a metodologia de redes bayesianas para que o planejamento eficaz de como e onde instalar um repetidor de sinal, diminuindo a complexidade da programação da rede criada para atender qualquer necessidade, seja de usuários domésticos ou de redes corporativas.

REFERENCIAS

- [1]. HUANG, C. C., WANG S. J., A Hierarchical Bayesian Generation Framework for Vacant Parking Space Detection, **Circuits and Systems for Video Technology**, IEEE Transactions on Volume:20, IEEE Circuits and Systems Society, p.1770-1785, Out 2010.
- [2]. ELGUEBALY T. A nonparametric Bayesian approach for enhanced pedestrian detection and foreground segmentation, **Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW)**, Colorado Springs, p 21-26, Jun 2011.
- [3]. FRAIHA, S. G. C., **Localização Ótima de Pontos de Acesso em Ambientes Indoor em Projetos de Sistemas Wireless**. 2009. 110 p. Tese (Doutorado em Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica) Universidade Federal do Pará, Belém, 2009.
- [4]. ARAÚJO, J. P. L., **Estratégia de Planejamento e Otimização de Sistemas Sem Fio, Considerando Redes Interferentes: Abordagem Baseada em Cross-Layer**. 2011. 139 p. Tese (Doutorado em Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica) Universidade Federal do Pará, Belém, 2011.
- [5]. CASTILHO, J. J. M., **Análise da Influência da Mobilidade em uma aplicação de vídeo em redes mesh**. 2013. 56 f. (TCC) Faculdade de Engenharia da Computação, Universidade Federal do Pará, Belém, 2013.
- [6]. BRAGA, A. S., **Planejamento de redes de comunicação sem fio para ambientes indoor considerando aplicações multimídia: abordagem híbrida – simulação e medição**. 2014. 70 p. Dissertação (Mestrado em Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica), Universidade Federal do Pará, Belém, 2014.
- [7]. GONZÁLES, R. G. R., **Análise de Atenuação de Sinal em Ambientes Indoor Usando Lógica Nebulosa**. 2009. 143 p. Dissertação (Mestrado em Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica), Pontífica Universidade Católica, Campinas, 2009.
- [8]. GOLESTAN K. , F. Karray, M. S. Kamel, High Level Information Fusion Through a Fuzzy Extension to Multi-Entity Bayesian Networks in Vehicular Ad-hoc Networks”
- [9]. RAZAVI, R., FLEURY, M., GHANBARI, M., SAMMAK, H. Allocation of IPTV Streams over Broadband Wireless through Fuzzy Logic Control.

- Computers and communications**, 2009. ISCC, Simpósio IEEE, jul. 2009. p. 1-6.
- [10]. YAO, X.W., WANG, W.L, YANG, S.H.. Video streaming transmission: performance modelling over wireless local area networks under saturation condition. **Communications, IET**. v.6, jan. 2012. p. 13-21.
- [11]. TSIARAS, C et. al. Towards Evaluating Type of Service Related Quality-of-Experience on Mobile Networks. **Wireless and mobile networking conference**, maio, 2014. p. 1-8
- [12]. BISWAS, T. DUTTA, R. Reliability Prediction of Diffused Pathset Routing in Wireless Multihop Networks; **Global communications conference 2014 IEEE**. Dez, 2014. p. 1290 -1295.
- [13]. CHARNIAK, Eugene; MCDERMOTT, Drew. **A Bayesian Model of Plan Recognition**. Massachusetts: Addison-Wesley, 1985.
- [14]. NORVIG, Peter, RUSSEL. Stuart. **Inteligência artificial**. 2 ed. Rio de Janeiro: Campus, 2004. p. 1021.
- [15]. MEYER, Paul. **Probabilidade**: Aplicações à Estatística. 2 ed. Rio de Janeiro: LTC, 1983. 109 p
- [16]. MORGADO, Augusto César; CARVALHO, João Bosco; CARVALHO, Paulo César; FERNANDEZ, Pedro. **Análise Combinatória e Probabilidade**. Rio de Janeiro: SBM, 1991. 191 p.
- [17]. ARA-SOUZA, Anderson Luiz. **Redes bayesianas**: uma introdução aplicada a credit scoring. Simpósio Nacional de Probabilidade e Estatística SINAPE, São Carlos, 2010.
- [18]. KORB, K.B., NICHOLSON, A.E. **Bayesian Artificial Intelligence**, pp 74-89, CRC PRESS, 2004. p. 22 -28.
- [19]. HRUSCHKA JR, E. R. **Imputação bayesiana no contexto da mineração de dados**. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, out. 2013.

- [20]. PEARL, J., **Probabilistic Reasoning in Intelligent System**. Morgan Kaufmann Publishers, 1988. p 223-232.
- [21]. COZMAN, F G. Generalizing variable elimination in baysian networks. In: **In Workshop on Probabilistic Reasoning in Artificial Inteligence**. S.l., 2000. p. 27-32.
- [22]. A BRIEF introdution to graphical models and bayesian networks. Disponível em: <<http://www.cs.ubc.ca/~murphyk/Bayes/bayes.html>> Acessado em: 8 de Agosto de 2014.
- [23]. DING, Jianguo. Probabilistic Inferences in Bayesian Networks. In: REBAI, Ahmed. **Bayesian Network**. Croatia: Sciyo, 2010. p 39-51.
- [24]. CHEN Z., **Data Miningand Uncerta in Reasoning - an Integrated Approach**, John Wiley Professional, 2001.
- [25]. SANTANA, A.L. **Projeto e implementação de um sistema de suporte a decisão para o observatório de saúde da Amazônia**. 2005. Dissertação de Mestrado de Engenharia Elétrica. UFPA, Instituto de Tecnologia. Programa de Pós Graduação de Engenharia Elétrica, 2005.
- [26]. ARILENE, Santos de Fraça. **Otimização do processo de aprendizagem da estrutura gráfica de redes bayesianas em bigdata**. Dissertação de Mestrado de Engenharia Elétrica. UFPA, Instituto de Tecnologia. Programa de Pós Graduação de Engenharia Elétrica, 2014.
- [27]. COSTA J. S. M., **Uma Metodologia para Predição do Campo Elétrico de Radiodifusão Sonora em Ondas Medias Utilizando Interferências Bayesianas**, 2013. 68 p, Dissertação (Mestrado em Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica), Universidade Federal do Pará, Belém, 2013.
- [28]. VEIGA, Samuel Carvalho Alencastro, SILVA, Wagner Teixeira da. **Redes bayesianas: uma visão geral**. Universidade de Brasília, Departamento de Ciência da Computação, Brasília, 2002.
- [29]. COOPER G., HERSKOVITZ, E. A Bayesian method for the induction of probabilistic networks from data. **Machine Learning**, v. 9, p. 309-347, 1992.

- [30]. KUROSE, R. **Redes de Computadores e a Internet: uma abordagem top Down**, 5 ed., São Paulo: Pearson, 2009.
- [31]. ARAÚJO, Jasmine. et al. Visualization Tool for Analyzing the Design of Physical and Network Layers Parameters of a Wireless Network, **Proceeding soft e Second International Conference on Advances in Computing and Information Technology**, 2012.
- [32]. KLAUE J, RATHKE B, WOLIS Z, Evalvid – A Framework for Video transmission and Quality Evaluation. 13th. **International Conference on Modeling Techniques and Tools for Computer Performance Evaluation**, Urbana, Illinois, EUA 2003.
- [33]. MATLAB® version 7.0: In Technical Documentation, 2012.
- [34]. Disponível em: <<https://iperf.fr/>> Acessado em 10 de Setembro de 2014.
- [35]. Disponível em: <<http://www.wirelessmon.com>> Acessado em 07 de Junho de 2014