

Análise de Níveis *RSSI* para Rede *Wireless* de 2,4 GHz na UFERSA Campus Mossoró Através de Métodos Estatísticos de Interpolação Espacial

Emerson Nunes dos Santos
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Departamento de Engenharia e Tecnologia
Mossoró, Brasil
emerson.nunes@alunos.ufersa.edu.br

Humberto Dionísio de Andrade Universidade
Federal Rural do Semi-Árido
Departamento de Engenharia e Tecnologia
Mossoró, Brasil
humbertodionisio@ufersa.edu.br

Idalmir de Souza Queiroz Júnior
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Departamento de Engenharia e Tecnologia
Mossoró, Brasil
isaac.barros@ufersa.edu.br

Isaac Barros Tavares Da Silva
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Departamento de Engenharia e Tecnologia
Mossoró, Brasil
brunfialho@gmail.com

Leonardo Oliveira de Sousa
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Departamento de Engenharia e Tecnologia
Mossoró, Brasil
leonardo.sousa14353@alunos.ufersa.edu.br

Nickson Saymon de Oliveira Lopes
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Departamento de Engenharia e Tecnologia
Mossoró, Brasil
nicksonsaymon@gmail.com

Resumo— Os sistemas de comunicação sem fio estão presentes nas diferentes atividades humanas, sendo alvo de análise e aprimoramento constante, por meio de estudos acerca das propriedades do meio de propagação, assim como a qualidade do sinal. Os equipamentos que se utilizam da faixa de 2,4 GHz devem obedecer às normas padronizadas pelo IEEE, de acordo com a versão de trabalho e com os padrões de transmissão de dados, para que a comunicação com os usuários ocorra em pleno funcionamento. Sendo assim, este trabalho possui como objetivo, o estudo acerca do nível de potência recebida do sinal de redes *WI-FI* por meio de métodos de interpolação aplicados a uma distribuição superficial de níveis *RSSI* (*Received signal strength indicator*) na área referente a Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Campus Mossoró, Lado Leste.

Palavras-Chave— *Interpolação Espacial, Métodos Determinísticos, Redes sem fio.*

Abstract— Wireless communication systems are present in different human activities and are the subject of constant analysis and improvement, through studies of the properties of the propagation environment, as well as the quality of the signal. Equipment that uses the 2.4 GHz band must comply with IEEE standards, according to the working version and data transmission standards, so that communication with users is fully functional. Therefore, the aim of this work is to study the received signal strength indicator of *WI-FI* networks using interpolation methods applied to a surface distribution of *RSSI* levels in the area of the Federal Rural University of the Semi-Arid, Mossoró Campus, East Side.

Keywords— *Spatial Interpolation, Deterministic Methods, Wireless Networks.*

I. INTRODUÇÃO

Os sistemas de comunicação sem fio são objetos de estudo, desenvolvimento e aprimoramento de técnicas e modelos fundamentados em estudos das telecomunicações e transmissão em rádio frequência. Com a alta demanda por infraestruturas de

redes sem fio, se faz necessária a utilização de conjuntos de equipamentos que consigam contornar diferentes situações na área de atuação [1].

As redes sem fio baseadas nos padrões *IEEE* 802.11 utilizam de equipamentos transmissores que possuem antenas e moduladores projetados para trabalhar em uma faixa de frequência específica. O padrão *IEEE* 802.11 n abrange as faixas de 2,4 GHz e 5,85 GHz, e taxas de transmissão de até 600 Mbps [2, 3].

Uma área coberta por um sinal de rede sem fio sofre atenuação e problemas diversos de atraso na transmissão, conforme o sinal é captado e utilizado em diferentes distâncias em relação a estação base de transmissão. O principal parâmetro de análise da qualidade de um sinal numa determinada distância em relação a estação base é o nível de potência de sinal recebido (*RSSI*). Este pode ser verificado através de métodos de coleta de dados em campo, com utilização de equipamentos como antenas e analisadores de espectro [4, 5, 6].

Em uma pesquisa realizada no estado do Rio Grande do Norte (RN), na cidade de Mossoró, foi aplicado um estudo acerca da distribuição superficial de níveis de potência (*RSSI*) referente a faixa de frequência de 2,4 GHz, utilizada na comunicação *WI-FI* e para aplicações industriais, científicas e médicas. A realização da campanha de medições se deu na Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) - Campus Leste, no qual foram identificados 157 pontos no mapa do campus universitário. Com os dados coletados em campo foi realizada uma análise estatística por meio de métodos estimativos do tipo determinístico e heurístico para averiguar se há uma adequada distribuição de potência de sinal *WI-FI* no campus e com isto realizar a análise de métodos de melhoria e adequação para garantir um acesso aos usuários.

Este trabalho foi parcialmente financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq.

II. METODOLOGIA

A. Redes sem fio

A arquitetura de comunicação para uma rede sem fio requer uma estação base, que é responsável por conectar uma infraestrutura básica de rede sem fio aos usuários (estações clientes), onde estes a utilizarão para a comunicação de dados, como ilustrado na Figura 1. As estações base do campus estão presentes no interior dos prédios e possibilitam a conexão nos ambientes internos, sejam salas de aulas, laboratórios, corredores, enquanto as áreas externas não possuem pontos de acesso. Os transmissores presentes no campus são roteadores que seguem o protocolo 802.11n, como ilustrado na Figura 2. E os equipamentos utilizados pelos usuários são *smartphones*, sensores e câmeras sem fio, *notebooks*, *tablets* entre outros.

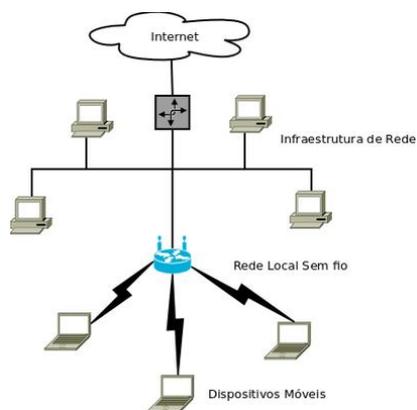


Fig. 1. Estrutura de uma rede de comunicação sem fio. Fonte: Site Wiki Cursos.

Em cada prédio estão presentes roteadores como ilustrado na Figura 2, do tipo dual-band com conexão em 2.4 GHz e 5,85 GHz, responsáveis pela transmissão e recepção dos dados e conexão com a rede de *internet*. Cada um destes dispositivos dispostos no prédio funciona como uma estação base para efetiva conexão dos aparelhos.



Fig. 2. Roteador comercial modelo TP-Link Archer C60. Fonte: Site Zoom.

B. Campanhas de medição

Para uma análise da área em estudo, se faz necessário adotar estratégias para a realização de medições dos níveis *RSSI* em campo, com isto o estudo foi conduzido em etapas. No primeiro momento, foi realizado um planejamento de uma malha, que é uma grade de pontos (*grid*) de amostragem com as localizações em termos de latitude e longitude, no mapa do local a ser estudado. No segundo momento, utilizamos de técnicas de

georreferenciamento para obter as coordenadas geográficas dos pontos presentes no *grid*. No terceiro momento, são realizadas as medições em campo com a utilização de um Analisador de Espectro, que abrange a faixa de frequência em estudo, para a coleta dos níveis de potência dos sinais da rede *wireless*.

É visualizado na Figura 3 o mapa exportado da aplicação Google Earth Pro®, versão 7. Foram definidos 157 pontos sobre a área em estudo, em formato de grade retangular, a grade possui um espaçamento de 50 metros em cada lateral dos retângulos menores. Estes pontos abrangem áreas com diferentes características, como áreas com maior índice de sombreamento, com presença de árvores, prédios, veículos, assim como áreas mais abertas.



Fig. 3. Mapa de localização da região em análise. Fonte: Google Earth Pro®, versão 7.

Para a realização da coleta dos dados, cada ponto especificado na grade foi localizado com a utilização do GPS Portátil Garmin 78s®, mostrado na Figura 4. Sobre os pontos foi disposto o conjunto antena e Analisador de Espectro TinySA Ultra®, visualizados na Figura 5, este foi posicionado numa altura de 1 metro com auxílio de um tripé. E os dados coletados consistem no nível *RSSI* daquele ponto, o Analisador realiza uma média de 100 amostras de medição e os dados são salvos em cartão de memória Micro SD, em formato de planilha para posterior acesso computacional.



Fig. 4. GPS modelo GARMIN GPSMAP® 78 series.

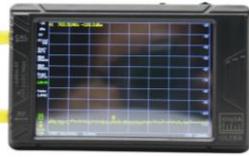


Fig. 5. Analisador de Espectro TinySA Ultra ®

C. Interpolação Espacial

Para análise estatística e modelagem dos mapas de contorno por meio de métodos de interpolação espacial foi utilizado o *software Surfer®*, versão 13, por meio dos dados de *RSSI* e suas coordenadas geográficas coletadas em campo. Os valores foram organizados em planilha e importados no programa em forma de *Grid Data*, num arquivo *.grid* e então o *software* gera matrizes de interpolação para os métodos selecionados, no caso do estudo foram utilizados os métodos determinísticos de Curvatura Mínima, Média Móvel, Regressão polinomial (de primeira ordem, do tipo plana) e Radial.

Com as matrizes de interpolação são gerados os mapas de contorno no qual é visualizado diretamente no mapa em estudo a distribuição espectral dos níveis de potência por região determinada pela posição geográfica. O *software* também se utiliza da validação cruzada aplicada a cada método para gerar as medidas de dispersão referentes aos valores estimados, então pode ser analisado qual método gerou uma melhor aproximação por interpolação, a partir do comportamento das medições em campo.

III. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Figura 6 é apresentado o Histograma dos valores coletados a partir das medições em campo e a sobreposição da função de densidade de probabilidade (fdp), em cor azul. As medições apresentaram valores de *RSSI* que variam de -108,48 dBm a -84,48 dBm. É observado na curva de distribuição normal uma assimetria do tipo positiva, então o valor médio das medições é maior que o da mediana e o coeficiente de curtose é de aproximadamente 1,28 em módulo, caracterizando a curva como platicúrtica, isto ocorre pela alta frequência de valores de medição entre -108,48 dBm e -96,48 dBm, a cauda direita da distribuição é mais afastada do pico em relação a cauda esquerda, então mostra que a média dos dados é maior que a mediana.

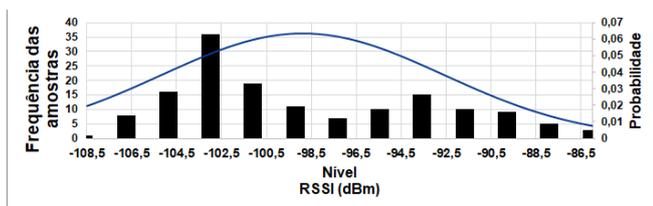


Fig. 6. Histograma com sobreposição da fdp das medições em campo.

A Figura 7 apresenta o diagrama de caixa dos valores de *RSSI* coletados em campo (*Site Survey*), é observado por meio de medidas separatrizes apresentadas como os valores mínimo (Extremo Inferior), máximo (Extremo Superior), Mediana, Média, Primeiro Quartil e Terceiro Quartil que os valores

coletados em campo estão em sua maioria próximos a -100 dBm, ou seja, são valores baixos para uma intensidade de potência de sinal irradiado nas áreas externas do campus, o gráfico ainda apresenta que os extremos superior e inferior possuem um distanciamento de cerca de 25 unidades em dBm e que a média e mediana possuem um deslocamento.

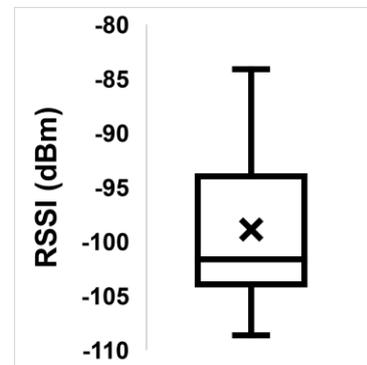


Fig. 7. Diagrama de caixa dos dados coletados.

A Figura 8 apresenta a área contornada e utilizada na análise em software.

As Figura 9, 10, 11 e 12 apresentam o mapeamento local estimativo de nível de *RSSI* na área em estudo, respectivamente, por meio dos métodos determinísticos de interpolação dos tipos, Curvatura Mínima, Média Móvel, Regressão Polinomial e Radial, no qual são visualizados os diferentes níveis para determinados pontos localizados em relação a latitude e longitude no sistema de coordenadas geográficas UTM.

O método da Mínima Curvatura apresenta os maiores *RSSI* na lateral esquerda do mapa e na lateral direita mostra uma distribuição de valores próximos a -109 dBm, o que condiz com a realidade da região no mapa da universidade, no qual têm-se uma quantidade maior de prédios, árvores, paredes ou barreiras que dificultam a dissipação de potência do sinal, assim como mostra que no centro do mapa, que seriam as regiões entre prédios, nas ruas do campus, são regiões com valores que variam entre -99 e -84 dBm e que seriam os melhores locais em relação a dissipação de potência.

O método da Média Móvel apresentou menores níveis de *RSSI* na borda lateral esquerda do mapa e apresenta baixa suavização dos valores estimados em quando analisado o sentido esquerda-direita. O mapa de contorno a partir deste método também apresenta que os locais com maiores valores de *RSSI* estão apenas nos locais na direção noroeste, divergindo em parte com os outros resultados.

O método da regressão polinomial, apresenta uma distribuição mais linear e com áreas bem uniformes, no qual o da direção sudoeste até a direção nordeste ocorre o aumento nos valores estimados de *RSSI*.

O método baseado em função radial apresenta valores mais baixos na direção sudeste, enquanto que nas regiões norte, nordeste e sudoeste são apresentados valores estimados maiores, chegando a -80 dBm, que estariam próximos ao valor

mínimo esperado para um nível adequado de dissipação de potência superficial.



Fig. 8. Mapeamento local utilizando estimativa por Curvatura Mínima.

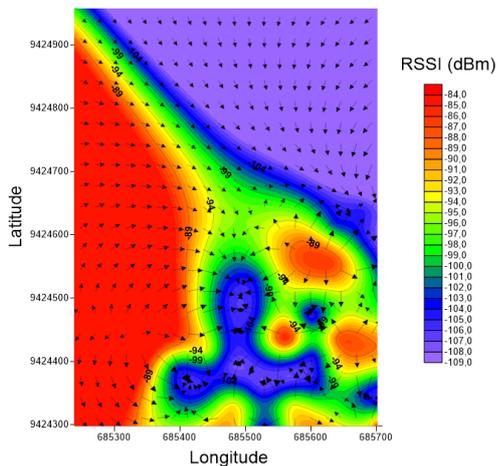


Fig. 9. Mapeamento local utilizando estimativa por Curvatura Mínima.

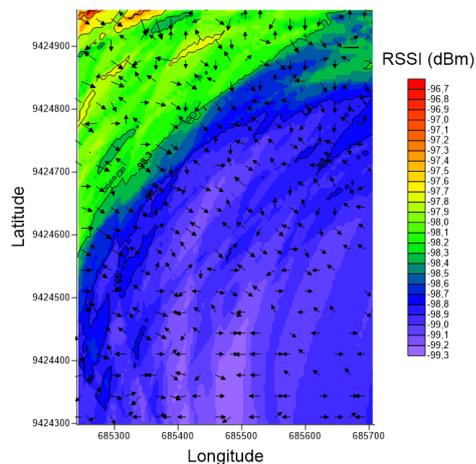


Fig. 10. Mapeamento local utilizando estimativa por Média Móvel

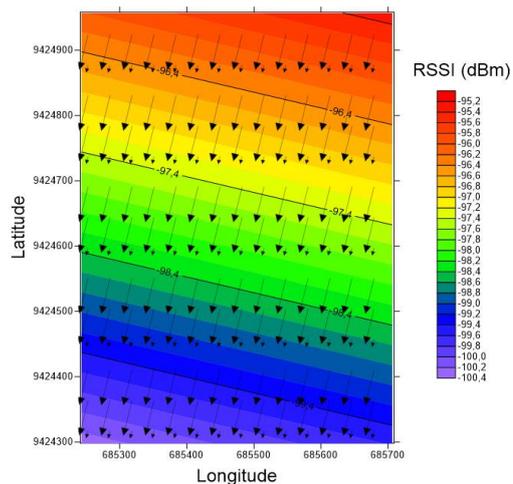


Fig. 11. Mapeamento local utilizando estimativa por Regressão Polinomial de segundo grau.

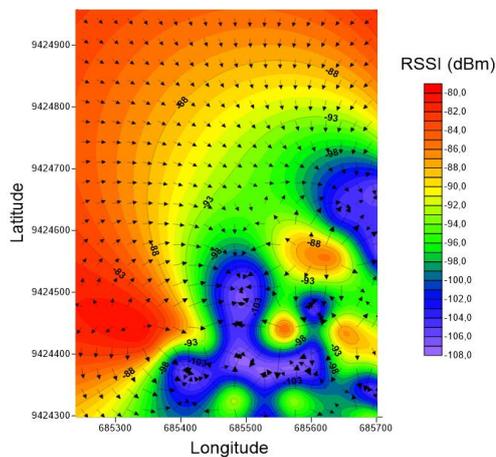


Fig. 12. Mapeamento local utilizando estimativa por método Radial.

A Tabela I apresenta a comparação por meio de medidas de dispersão, resultantes da aplicação do método de validação cruzada. Para realização da validação cruzada foram escolhidos aleatoriamente 150 valores estimados em cada um dos métodos determinísticos abordados neste trabalho. No geral os valores estimados possuem alta variância, mostrando que entre si possuem um grande distanciamento, mas a média e mediana da validação apresenta valores em baixa magnitude. É observado que o método da Curvatura Mínima apresentou o menor Desvio Quadrático Médio e menor Variância, assim como possui valores próximos entre sua média e sua mediana. Enquanto é verificado que o método base em função Radial possui maior divergência entre os valores estimados, possuindo maior valor de Erro Quadrático Médio e maior Variância.

TABELA I. COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS DETERMINÍSTICOS LOCAIS.

Método	Desvio			
	Média	Mediana	Variância	Quadrático Médio
Curvatura Mínima	-0,51	-0.09	16,8	4,07

Método	Desvio			
	Média	Mediana	Variância	Quadrático Médio
Média Móvel	-0,09	2,68	39,86	6,29
Regressão Polinomial	0,01	2,23	38,57	6,19
Radial	-0,08	0,74	54,95	7,38

[6] CORREIA, Pedro. Modelação e estimação: uma introdução à geoestatística. Curitiba: Numist, 2010.

IV. CONCLUSÕES

Com a utilização dos métodos determinísticos é observado que os mapas de contorno apresentam nas áreas de sombra, áreas com maior presença de vegetação e obstáculos, baixos valores de *RSSI*, com valores próximos a -105 dBm para todos os métodos aplicados, nestas áreas a conexão com a rede ocorre com maior dificuldade, a depender do tipo de arquitetura de *hardware* e qualidade da antena do dispositivo móvel que será conectado, então esses locais têm uma maior probabilidade de ocorrência de falhas na comunicação e transferência de dados.

No método com maior precisão, e por consequência maior relevância para a análise que foi a Curvatura Mínima é apresentado uma equivalência nas áreas com menores valores de *RSSI* para as áreas de sombra constatadas durante as campanhas de medição. Por meio desta análise são apresentados os locais ao qual a infraestrutura e localização das estações cliente podem sofrer alterações com intuito de melhoria na transmissão sem fio.

Os autores sugerem como proposta a análise e instalação de estruturas de rede *outdoor* nos locais com nível de potência de sinal mais fragilizado para que os estudantes, docentes, servidores e pessoas que frequentam a universidade consigam realizar uma boa conexão com a rede.

AGRADECIMENTOS

Esse estudo foi financiado em parte pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq. Os autores agradecem também, a CAPES, UFRS, GEPEAT, ao capítulo Estudantil MTS – UFRS, ao ramo Estudantil IEEE UFRS e a equipe do Laboratório de Telecomunicações e Micro-ondas da UFRS.

REFERÊNCIAS

- [1] W. D. T. Meza. Caracterização de Canal Radio Móvel em Ambientes Suburbanos Geograficamente Acidentados na Faixa de 5.8 GHz. 223 f. Tese (doutorado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2013.
- [2] T. S. Rappaport. Comunicações sem fio: princípios e práticas. 2ªed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.
- [3] "IEEE Standard for Information Technology--Telecommunications and Information Exchange between Systems - Local and Metropolitan Area Networks--Specific Requirements - Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications," in IEEE Std 802.11-2020 (Revision of IEEE Std 802.11-2016) , vol., no., pp.1-4379, 26 Feb. 2021, doi: 10.1109/IEEESTD.2021.9363693.
- [4] NOGUEIRA, L. C. Análise de medidas de sistemas MIMO na frequência de 2,4 GHz em ambientes internos e externos. Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, 2008.
- [5] FIALHO, Bruno Rodrigues et al. Avaliação da distribuição superficial de potência de uma rede sem fio na banda de 5, 8 ghz na região dos campos de petróleo do canto do amaro. 2019.