

AVALIAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO SUPERFICIAL DO NÍVEL DE POTÊNCIA RECEBIDA DO SINAL DE REDES WI-FI ATRAVÉS DO USO DE INTERPOLAÇÃO ESPACIAL NA UFRSA CAMPUS MOSSORÓ.

Emerson Nunes dos Santos¹, Humberto Dionísio de Andrade², Isaac Barros Tavares da Silva³

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 qualidade do sinal. Os equipamentos que se utilizam da faixa de 2,4 GHz devem obedecer às normas padronizadas pelo IEEE. Os padrões de transmissão de dados e o nível de potência utilizado são relevantes para que a comunicação com os usuários ocorra de forma adequada. Sendo assim, este trabalho possui como objetivo, o estudo acerca do nível de potência recebida do sinal da rede *WI-FI* em 2.4 GHz por análise superficial do nível de *RSSI* (*Received signal strength indicator*) no ambiente da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Campus Mossoró. Este estudo se dá por meio de campanha de medições superficiais, análise geoestatística, por meio da utilização de métodos de interpolação e construção de mapas de contorno. Com a realização da análise e estimativa da distribuição superficial de potência fica compreendido que as áreas externas possuem níveis *RSSI* abaixo de -80 dBm, que são caracterizados como sinais fracos, a maior parte das áreas em análise possui valores em torno de -100 dBm, que condizem com uma maior presença de prédios, vegetação e obstáculos para o sinal *WI-FI* e mostram a importância de estratégias de implementação de redes do tipo *outdoor* na universidade.

Palavras-chave: Redes *WI-FI*, *RSSI*, Campanha de medição, Interpolação espacial, Métodos geoestatísticos.

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas de comunicação sem fio são objetos de estudo, desenvolvimento e aprimoramento de técnicas e modelos fundamentados em fenômenos físicos da óptica geométrica. Com a alta demanda por infraestruturas de redes sem fio, se faz necessária a utilização de conjuntos que consigam contornar diferentes situações e demandas na área de utilização. 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 802.11n abrange as faixas de 2,4 GHz e 5,8 GHz, e taxas de transmissão de até 600 Mbps, no qual sinais de rede *WI-FI* devem compreender um nível de *RSSI* (Indicador de potência do sinal recebido) em dBm entre a faixa de -70 e -30 dBm para se enquadrarem como bons para conexão e utilização em dispositivos móveis [1,2].

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 *RSSI* que pode ser verificado através de métodos de coleta de dados em campo, com utilização de equipamentos como antenas e analisadores de espectro [3].

O comportamento do sinal durante a transmissão depende das características inerentes ao meio físico. Este meio pode ser o espaço livre, satélite, cabos entre outros. Um dos efeitos ocasionados por estas propriedades físicas é o desvanecimento do sinal, no qual com o passar do tempo e da distância de propagação, o sinal sofre perdas em seu nível de potência, outro efeito é o de múltiplos percursos que é originado a partir das reflexões e refrações ocasionadas pelos obstáculos entre o receptor e transmissor do sinal, causando uma perda de energia do sinal durante o trajeto de transmissão. Estes fenômenos estão associados a distribuição dos prédios, paredes, vegetação, coberturas entre outros materiais nas áreas de irradiação do sinal transmitido [4].

Para realização da análise da distribuição de medições espaciais são utilizadas técnicas de amostragem de pontos pelos quais uma determinada variável será medida e acumulada num conjunto de amostras. Nestas amostras são aplicados os métodos de interpolação espacial de maneira que são estimados valores complementares aos valores medidos na superfície. Por meio da geoestatística existem métodos de interpolação do tipo determinístico no qual são utilizadas formulações matemáticas com base em estudos teóricos acerca da probabilidade de distribuição da variável numa área, assim como os métodos do tipo heurístico, no qual atuam tanto a probabilidade quanto é considerada a influência do distanciamento entre os pontos medidos [5, 6].

O objetivo deste trabalho é a realização de um estudo acerca da distribuição superficial de níveis de potência

referentes a faixa de frequência de 2,4 GHz, utilizada na comunicação WI-FI, na Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Campus Mossoró. Este estudo busca a medição, análise e comparação da distribuição do sinal superficial com o padrão indicado pelo IEEE. Para um nível adequado de utilização em conexão com a rede de internet em dispositivos móveis o sinal sem fio deve estar compreendido entre -70 à -30 dBm para níveis RSSI.

2. LOCALIZAÇÃO DO ESTUDO

A Universidade Federal Rural do Semi-Árido, abordada no estudo, se encontra na cidade de Mossoró, no interior do estado do Rio Grande do Norte, na região Nordeste do Brasil. Na Figura 1 sendo apresentado o mapa total dos dois campos e o contorno utilizado para realização das marcações dos pontos de medições utilizados.



Figura 1. Visualização dos mapas de contorno da UFERSA. (Autoria Própria)

2.1. Estrutura de redes sem fio na UFERSA

Os prédios da UFERSA possuem uma distribuição de dispositivos roteadores em suas instalações internas, com conexão do tipo *indoor*, instalados com intuito de possibilitar a conexão de dispositivos móveis com a rede de internet, estes pontos estão presentes nas salas, laboratórios e corredores, são do tipo TP-Link e trabalham em *dual band*, com conexão em 2,4 GHz e 5,8 GHz, obedecendo o protocolo IEEE 802,11n, na UFERSA é utilizada apenas a banda de 2.4 GHz, o dispositivo é ilustrado na Figura 2.



Figura 2. Roteador modelo TP-Link Archer C60 [7].

3. METODOLOGIA

3.1. Campanhas de Medição

Para a realização da análise de níveis RSSI na área em estudo, se faz necessária a adoção de estratégias relacionadas as medições em campo, com isto, o estudo foi conduzido em etapas. Inicialmente foi realizado uma projeção de uma malha, sendo do tipo grade de pontos (*grid*) com a amostragem dos pontos e sua localização no mapa, em termos de latitude e longitude, sendo que os pontos estão diretamente distribuídos no mapa do local, objeto de estudo. Os pontos de medição são apresentados na Figura 3, o Campus Leste da UFRSA, com o sistema de coordenadas UTM, para localização em latitude e longitude. No item (a) é visualizado o contorno utilizado para realização das marcações dos pontos de medição utilizados, na cor amarela, enquanto no item (b) é visualizado o conjunto de pontos de medição. Na Figura 4 é apresentado o mapa do Campus Oeste, no qual é observado no item (a) a visualização do contorno desta região na cor violeta e no item (b) são visualizados os pontos de medição utilizados.

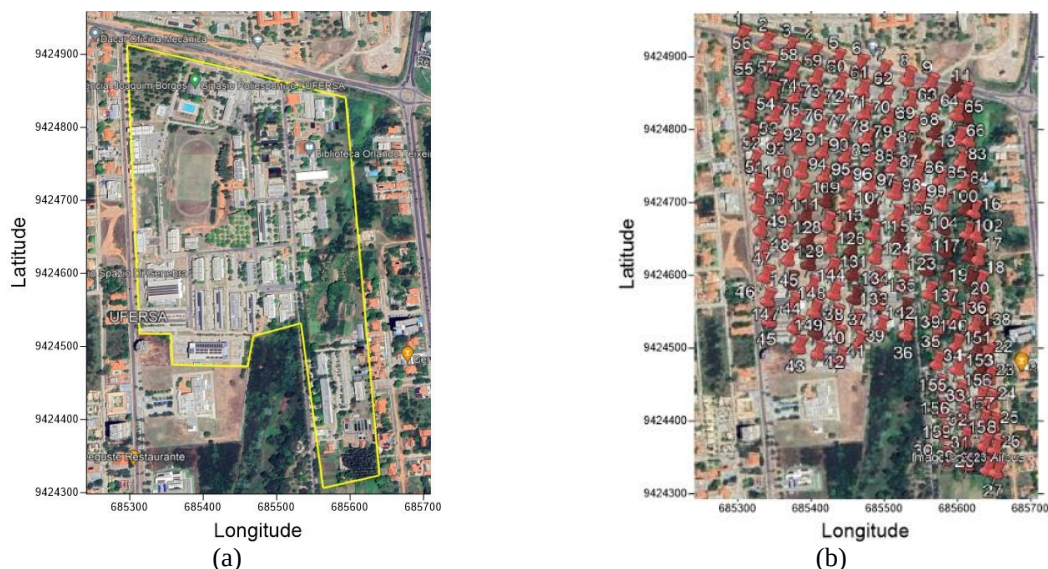


Figura 3. (a) Visualização do mapa de contorno em coordenadas UTM e (b) Visualização dos pontos de medição na UFRSA – Campus Leste. (Autoria Própria)



Figura 4. (a) Visualização do mapa de contorno em coordenadas UTM e (b) Visualização dos pontos de medição na UFRSA – Campus Oeste. (Autoria Própria)

Em seguida foram utilizadas técnicas de georreferenciamento para obter as coordenadas geográficas dos pontos presentes no *grid*, com o auxílio do software *Google Earth Pro*®, versão 7. Então foram realizadas as medições em campo com a utilização de um dispositivo Analisador de Espectro, que abrange a faixa de frequência em estudo, para a coleta dos níveis de potência dos sinais da rede wireless e por fim o tratamento dos dados por meio do software de análise geoestatística, *Surfer*.

Para aquisição dos pontos de medição e suas respectivas coordenadas foi exportado o conjunto mapa e pontos de medição da aplicação de visualização de mapas do *Google Earth*, como ilustrado na Figura 4. O conjunto de pontos de medição estão espalhados sobre a grade de medição gerada. Como distribuição pelas diferentes áreas do campus universitário, foram definidos 157 pontos sobre a área do Campus Leste e 74 pontos sobre a área do Campus Oeste. As duas grades de pontos referente a cada Campus possuem pontos que estão espaçados em cerca de 50 metros, como apresentado na Figura

3.2. Dispositivos utilizados

Os pontos estão distribuídos por áreas que possuem diferentes características, como áreas com maior índice de sombreamento, com presença de árvores, construções, veículos de pequeno, médio e grande porte, prédios,

paredes, coberturas, assim como áreas em campo aberto. Através da utilização do dispositivo GPS Portátil *Garmin 78s®*, como ilustrado na Figura 5, foram cadastrados os pontos de medição e então localizados durante as medições. A escolha do GPS se deu pela alta precisão radial de até 3 metros em relação à coordenada de cada ponto. Em cada ponto de medição foi utilizado o Analisador de Espectro modelo *TinySA Ultra®*, como ilustrado na Figura 6. Os dados armazenados são referentes ao nível RSSI sobre o ponto.



Figura 5. GPS Portátil *Garmin*, modelo 78s [8].



Figura 6. Conjunto Analisador de Espectro *TinySA Ultra*, conectores, cabo usb e antena [9].

O funcionamento do Analisador ocorre por meio da configuração de leitura de um intervalo específico de frequência, no qual uma antena externa com frequência de ressonância adequada é conectada e então é realizada a medição de nível de potência superficial do meio. O intervalo de frequência é particionado e para este estudo ele abrange o limite inferior de 2,3 GHz e o limite superior de 2,5 GHz, dividido em 100 espaços de 2 MHz e a antena utilizada possui frequência de ressonância de 2,45 GHz, do tipo longa, com conector SMA e com ganho do sinal de 12 dBi, o modelo utilizado é ilustrado na Figura 7.



Figura 7. Ilustração de antena WI-FI utilizada para medições [10].

Os dados coletados são salvos em dispositivo removível de memória do tipo Micro SD, em formato de planilha, acessível em computadores ou demais dispositivos. Cada intervalo de medições realizadas num ponto é salvo com um número de identificação e num arquivo único. Para cada um destes intervalos é realizada uma média dos valores encontrados, então este valor é associado ao ponto destacado em latitude e longitude. Este ponto é uma parcela dos pontos distribuídos pela superfície em análise.

3.3. Interpolação Espacial e tratamento dos dados

A partir dos pontos georreferenciados e seus valores associados de nível RSSI em partes da superfície são utilizados métodos geoestatísticos para interpolação e estimação de valores para toda a superfície. Esse tipo de aproximação é chamada de distribuição superficial e com esta são desenvolvidos modelos que podem ser adequados para análise espacial de uma área e seus dados amostrados. Os tipos utilizados em projeto foram os métodos determinísticos de Média Móvel, Curvatura Mínima, Curvatura Radial e Regressão Polinomial de primeira ordem. Assim como o método heurístico da Krigagem com variações nos variogramas, no qual foram utilizados o tipo Linear e Logarítmico.

Através do software *Surfer* é realizada a interpolação espacial dos dados, como ilustrado na Figura 8. Cada método foi implementado no software e possui suas características e variações que são descritas de forma estatística em pequenos relatórios. Na Figura 9 os campos de gerenciamento dos dados são destacados em cor vermelha. A área (1) *Data Columns*, no qual os dados são inseridos no software através de uma tabela presente em planilha, são escolhidas as colunas na tabela, referentes a localização geográfica e ao nível de RSSI em dBm. Selecionados os dados é necessária a escolha do método de interpolação. Na área (2) *Gridding Method*, é ilustrado o método da Krigagem. Na área (3) *Grid Line Geometry* devem ser escolhidos os limites mínimos e máximos na direção da localização geográfica selecionada e o número de nós de interpolação escolhidos. Realizadas tais configurações, deve ser escolhida a localização para salvar a grade de pontos gerada ao fim do processo, na área (4).

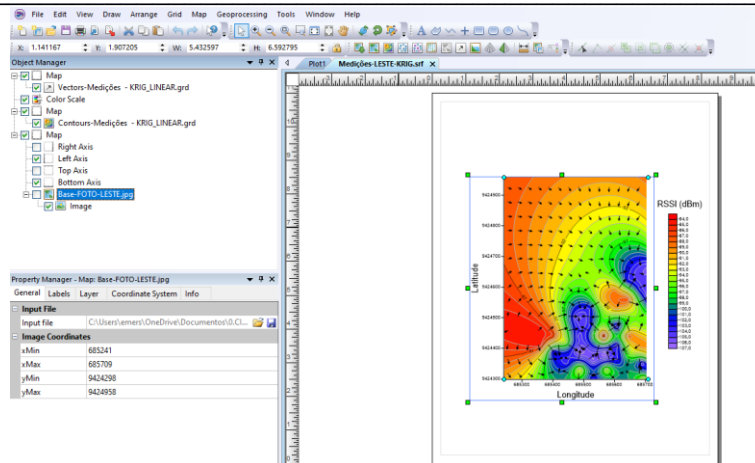


Figura 8. Visualização do ambiente principal de utilização do software Surfer. (Autoria Própria)

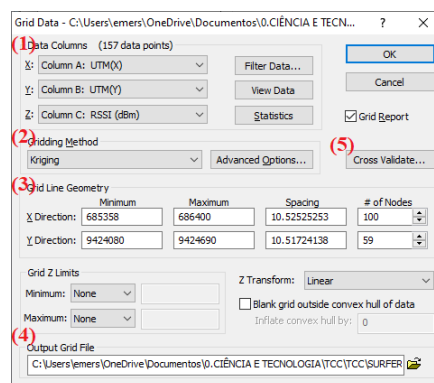


Figura 9. Ambiente de geração da malha de interpolação espacial no software Surfer. (Autoria Própria)

Para validação dos métodos de interpolação utilizados é necessária uma análise estatística dos pontos gerados por cada método. O software possui implementado em sua estrutura o método de validação cruzada, na área (5) *Cross Validate*, como ilustrado na Figura 9, pelo qual é escolhida uma quantidade de pontos que serão extraídos aleatoriamente dos pontos geradores na interpolação e com a análise destes pontos são geradas medidas descritivas estatísticas de Média, Mediana, Variância e Erro Quadrático Médio. A grade de pontos gerada é responsável posteriormente para realização do desenho os vetores da malha e os mapas de contorno. Nestes mapas são visualizadas as tendências superficiais do valor medido *RSSI* no Campus em estudo.

4. Resultados e Discussões

4.1. Campus Leste

4.1.1 Análise estatística dos dados

Na Figura 10 é apresentado em vermelho o histograma do conjunto de amostras das medições (HIST), no qual os valores variam desde o mínimo até o máximo da medição e foram divididos em 13 intervalos de ocorrência. É apresentada a frequência de cada intervalo e foi constatado que o 4º intervalo com maioria dos valores medidos apresenta frequência de 36 amostras. A curva em amarelo é chamada de função de Densidade de Probabilidade (DP) e corresponde a uma visualização normalizada da probabilidade de ocorrência das amostras em relação a todo o conjunto. Ela possui um comportamento de curva de distribuição normal, com achatamento no seu ponto máximo e com a cauda direita estendida. Essas informações descrevem que os dados coletados não possuem valores com altíssimas frequências em relação ao total e que a média dos valores é maior que a mediana, por isso ocorre essa assimetria no lado direito.

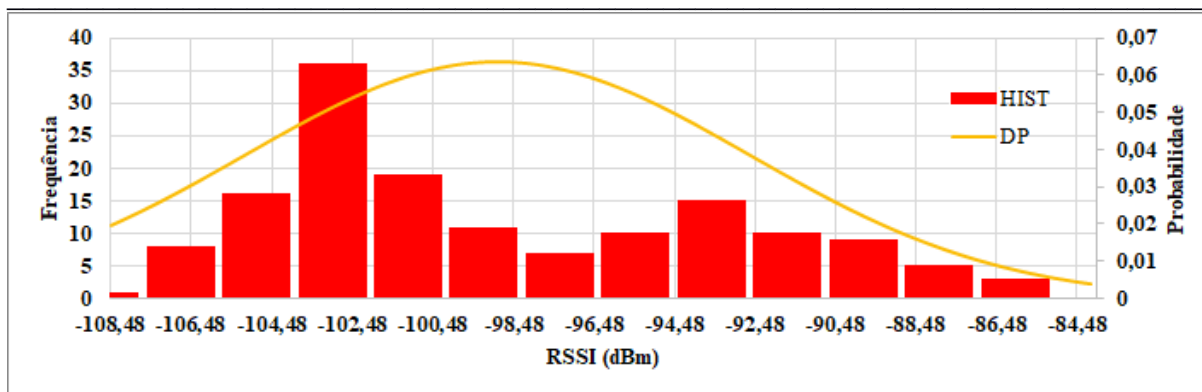


Figura 10. Diagrama de Blocos dos valores adquiridos em medição do nível RSSI e curva de densidade de probabilidade para os dados do campus Leste. (Autoria própria)

Para construção do histograma e da função de densidade de probabilidade foram utilizados os termos apresentados na Tabela 1, esta tabela apresenta os valores mínimo e máximo das amostras, a média, a quantidade de termos (tamanho), uma estimativa de quantidade de intervalos (classes) e o incremento entre os limites externos de cada classe, assim como o desvio padrão e o incremento entre elementos. Na Tabela 2 são apresentadas as classes calculadas a partir do valor mínimo e a frequência de valores de amostra dentro de cada classe. Assim como os valores de corte referentes a cada classe e sua frequência, no qual é visto que valores que se aproximam do máximo valor de RSSI em dBm ocorrem com menor frequência, e estão compreendidos nas classes 12 e 13, enquanto que os valores que ocorrem com maior frequência estão entre as classes 3 e 6.

Tabela 1. Termos característicos das amostras das medições para o Campus Leste

Termos	Valores
Mínimo	-108,635
Máximo	-84,138
Média	-98,88359554
Tamanho (n)	157
Estimativa de Classes	12,52996409
Classes	13
Incremento 1	1,884384615
Desvio Padrão	6,272673136
Incremento 2	0,156031847

Tabela 2. Divisão das classes

Classes	Corte	Frequência
1	-108,635	1
2	-106,75	8
3	-104,87	16
4	-102,98	36
5	-101,10	19
6	-99,21	11
7	-97,33	7
8	-95,44	10
9	-93,56	15
10	-91,68	10
11	-89,79	9
12	-87,91	5
13	-86,02	3

4.1.2. Análise por métodos determinísticos

A partir da utilização dos métodos determinísticos sobre a área em estudo é visualizado uma superfície coberta por uma malha de vetores, também chamada de mapa de contorno, assim como apresentado na Figura 11. Na Figura 11, item (a) é apresentado o mapa de contorno referente a interpolação realizada pelo método da Média Móvel. Com este método é apresentado um conjunto de valores estimados de RSSI entre -99,3 dBm e -96,7 dBm, no qual a concentração na parte central, sudoeste e sudeste da figura apresenta os valores mais baixos, com variações entre -99,3 e 98,4 dBm, evidenciando por este método possíveis locais de sombra ou com maior nível de atenuação no sinal analisado, enquanto a parte norte e noroeste apresenta os valores a partir de -98 dBm, com melhores valores estimados de RSSI.

O item (b) da Figura 11 apresenta a interpolação referente ao método da Curvatura Mínima, neste caso os valores variam entre -109 e -84 dBm, e existem duas áreas em destaque que são a parte nordeste e norte, com predominância de valores entre -109 e -105 dBm, mostrando que esta área possui possíveis pontos que causam

maior atenuação no sinal, a parte sudoeste e oeste com valores entre -92 e -84 dBm, apresenta uma característica de ser uma área com maior nível distribuição de potência superficial. Enquanto que as demais áreas apresentam uma diversidade em seus valores estimados, com valores que variam em toda a distribuição da escala de *RSSI* em dBm.

O item (c) da Figura 11 apresenta o terceiro caso de interpolação utilizado no lado leste a partir do método de curvatura Radial. Com este método são apresentados valores de *RSSI* que variam entre -108 e -80 dBm e há uma predominância na região norte, oeste e parte do sul do mapa para valores entre -90 e -80 dBm, ou seja, neste método essas áreas apresentam em estimativa por interpolação, melhores condições para distribuição de potência em sua superfície, enquanto que é verificado que nas demais áreas existem pontos expressivos com valores que chegam a -108 dBm, estes que caracterizam áreas de sombra, com muitos prédios ou obstáculos que dificultam a propagação do sinal em estudo.

O item (d) da Figura 11 apresenta a aplicação do método da Regressão Polinomial na área em estudo e seus valores *RSSI* estimados variam entre -100,4 e 95,2 dBm. Neste método é apresentado um crescimento polinomial de primeira ordem na região sul do mapa, começando em valores próximos a -100 dBm até que na região norte do mapa são visualizados valores próximos ao limite superior da escala em torno de -95 dBm. Então por este método é apresentado que as regiões com melhor distribuição de potência no espaço livre estão presentes na região norte e as com piores condições e que caracterizam áreas de sombra ou de grande atenuação no sinal estão espalhadas pela região sul.

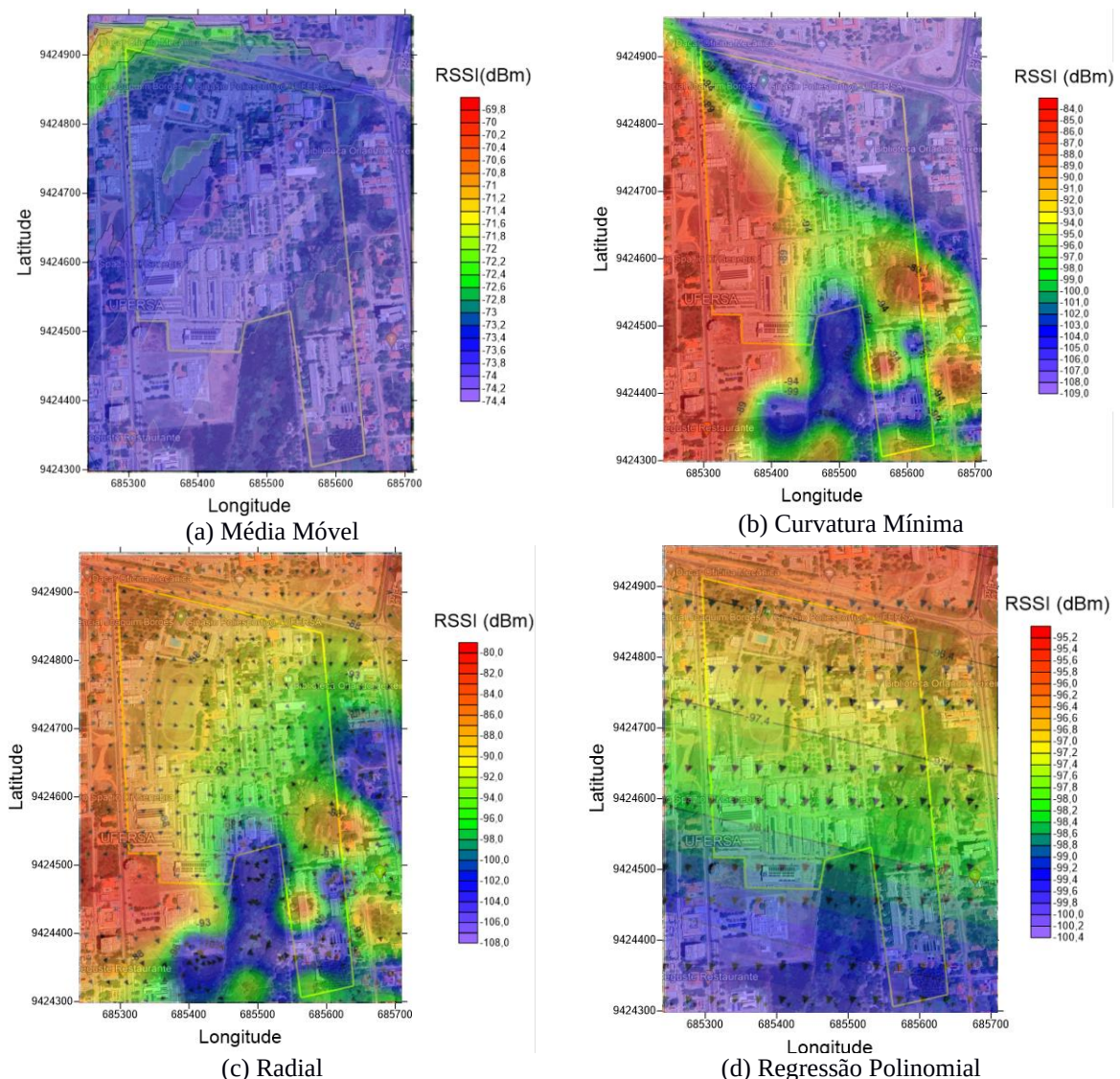
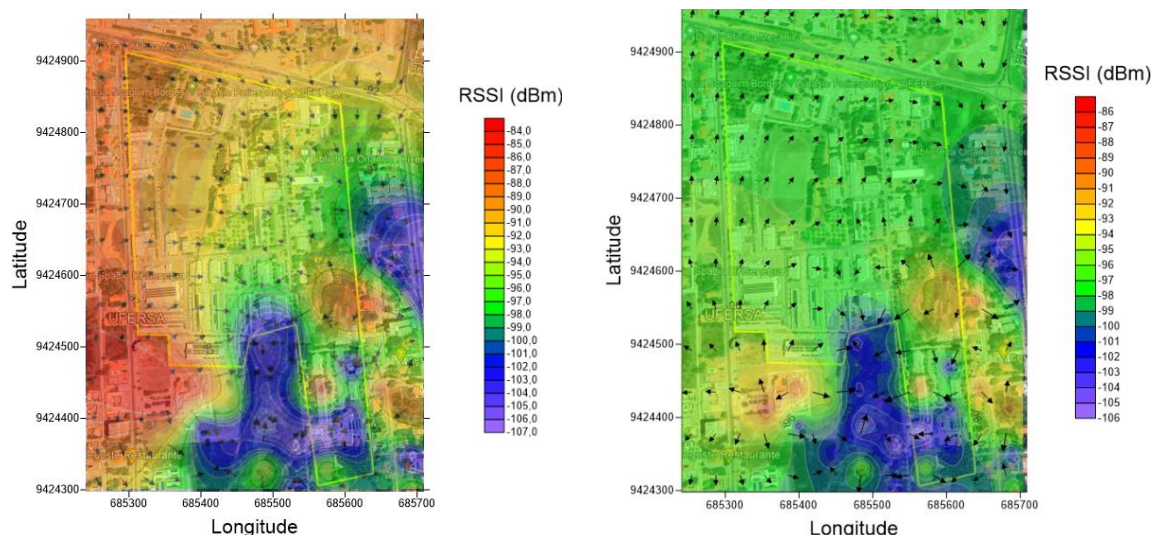


Figura 11. Mapas de contorno resultantes da aplicação dos métodos determinísticos na superfície da região Leste. (Autoria própria)

4.1.3. Análise por métodos heurísticos

Na Figura 12 são apresentados os mapas de contorno referentes a aplicação do método de interpolação da Krigagem. No item (a) é utilizado um variograma do tipo linear e no item (b) um variograma do tipo logarítmico.

Para os dois casos são apresentadas escalas de *RSSI* com valores próximos, variando respectivamente entre -107 e -84 dBm e -106 e -86 dBm para (a) e (b). Em (a) e (b) os maiores valores estimados em dBm estão presentes na região norte e oeste do mapa, com destaque para a região limitada entre latitudes 9424400 e 9424500 e longitudes 685200 e 685400 que estão presentes na parte sudoeste do mapa e possuem valores *RSSI* entre -86 e -84 dBm para (a) e entre -96 e -86 dBm para (b). Esta região possui uma melhor distribuição para o sinal em estudo, assim como para os dois casos são apresentados pontos próximos ao sul do mapa com o menores valores da escala, próximos a -106 dBm, estas estimativas podem evidenciar locais com maior concentração de vegetação, prédios ou diferentes obstáculos para o sinal em estudo.



(a) Krigagem com variograma linear
(b) Krigagem com variograma logarítmico
Figura 12. Mapas de contorno resultantes da aplicação do método da Krigagem na superfície da região Leste.
(Autoria própria)

4.2. Campus Oeste

4.2.1 Análise estatística dos dados

Na Figura 13, similar a Figura 11, utilizada para a região do Campus Leste, também é apresentado em vermelho o histograma do conjunto de amostras das medições (HIST), mas quanto a divisão em intervalos, para este caso foram utilizados 10 intervalos de ocorrência. É apresentada a frequência de cada intervalo e foi constatado que o 3º intervalo com maioria dos valores medidos apresenta frequência de 16 amostras, no qual está compreendido entre -103,16 e -101,16 dBm. A curva da função de densidade de probabilidade (DP) também possui comportamento similar a curva da Figura 11, com achatamento no seu ponto máximo e com a cauda direita estendida. Com estas informações, é averiguado que os dados coletados não possuem valores com alta quantidade de frequência em relação a frequência dos demais e que a média dos valores também é maior que a mediana, porém, com diferença menor que no primeiro caso na Figura 11.

Para construção do histograma e da função de densidade de probabilidade foram utilizados os termos apresentados na Tabela 3, similar a Tabela 1. Também são apresentados os valores mínimo e máximo das amostras, a média, a quantidade de termos (tamanho), uma estimativa de quantidade de intervalos (classes) e o incremento entre os limites externos de cada classe, assim como o desvio padrão e o incremento entre elementos. Na Tabela 4, similar a Tabela 2, são apresentadas as classes calculadas a partir do valor mínimo e a frequência de valores de amostra dentro de cada classe. Assim como os valores de corte referentes a cada classe e sua frequência, os valores que ocorrem com menor frequência estão compreendidos entre as classes 5 e 7 e os valores que ocorrem com maior frequência estão compreendidos entre as classes 2 e 4.

Tabela 3. Termos característicos das amostras das medições para o Campus Oeste

Termos	Valores
Mínimo	-107,16
Máximo	-82

Tabela 4. Divisão das classes

Classes	Corte	Frequência
1	-107,16	1
2	-104,36	13
3	-101,57	15
4	-98,77	7
5	-95,98	4
6	-93,18	4
7	-90,39	6

Termos	Valores
Termos	Valores
Média	-96,11960811
Tamanho (n)	74
Est. Classes	8,602325267
Classes	9
Incremento	2,795555556
Desv Pad	8,239101816
Incremento 2	0,34

8	-87,59	8
Classes	Corte	Frequência
9	-84,80	9
10	-82	7

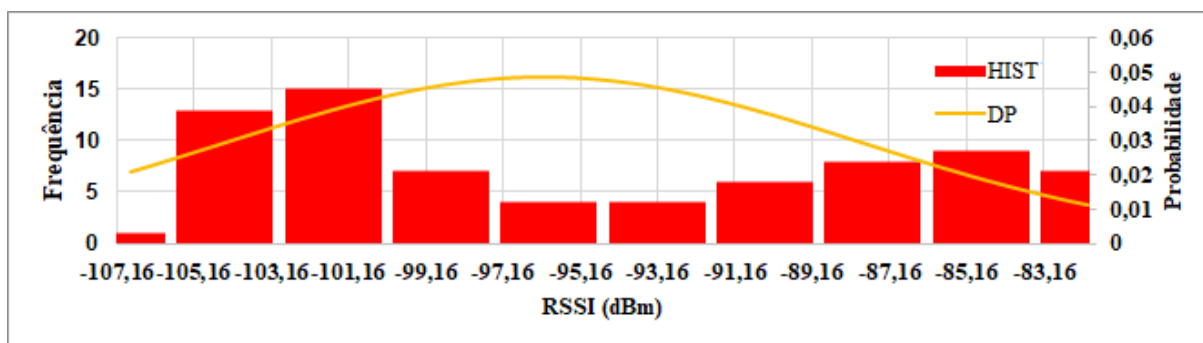
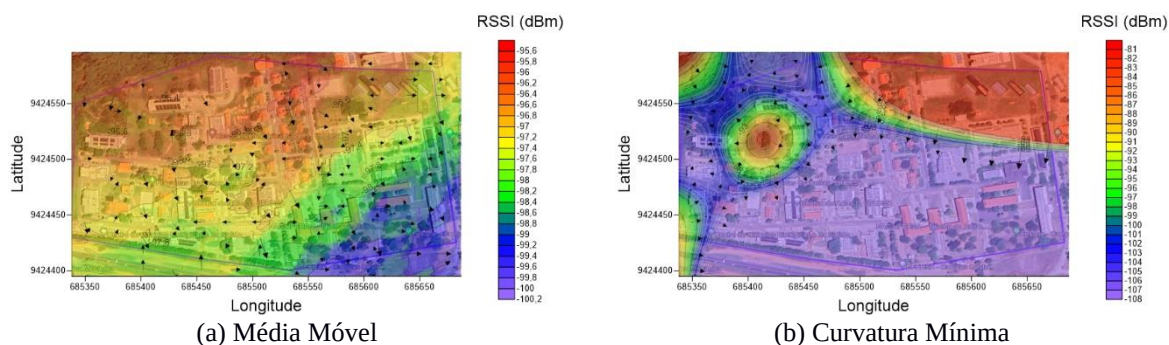


Figura 13. Diagrama de Blocos dos valores adquiridos em medição do nível RSSI e curva de densidade de probabilidade para os dados do Campus Oeste. (Autoria própria)

4.2.2. Análise por métodos determinísticos

Na Figura 14 são apresentados os mapas de contorno com os valores estimados para os níveis de RSSI para o lado Oeste, por meio dos métodos também aplicados inicialmente ao lado Leste, nos itens (a), (b), (c) e (d), respectivamente, são apresentados os métodos de Média Móvel, Curvatura Mínima, Curvatura Radial e Regressão Polinomial. No item (a) a escala de RSSI tem uma variação entre -100,2 à -95,6 dBm, com valores que variam de forma crescente da parte sudeste do mapa até a parte noroeste, no qual é visualizado que as regiões ao sul possuem valores menores em dBm, caracterizando regiões com maiores índices de atenuação do sinal analisado. No item (b) a escala de RSSI tem variação de -108 à -81 dBm, no qual é predominante no mapa a quantidade de regiões com valores próximos a -108 dBm e na região nordeste é visualizado a presença de uma área destacada com valor de -81 dBm, constatando que nessas áreas respectivamente se tem uma baixa distribuição superficial de potência enquanto que ao norte têm-se os melhores valores para esta estimativa. No item (c) o comportamento é quase inverso ao apresentado no item (a), no qual a escala varia de -108 e -81 dBm. As regiões com maiores valores estimados em dBm ocupam com predominância o mapa nas áreas centrais, leste, sul e grande parte do norte, enquanto que as demais áreas apresentam pontos com valores que variam entre -108 dBm e -101 dBm e pontos de transição ao noroeste com valores que variam entre -99 e -92 dBm. No item (d) é apresentada a estimativa pelo método de interpolação por Regressão Polinomial de primeira ordem, no qual os valores em RSSI possuem variação entre -107,5 e -97,5 dBm e o comportamento sobre a área total da região se dá por uma variação crescente e linear da região sudeste até a região noroeste do mapa.



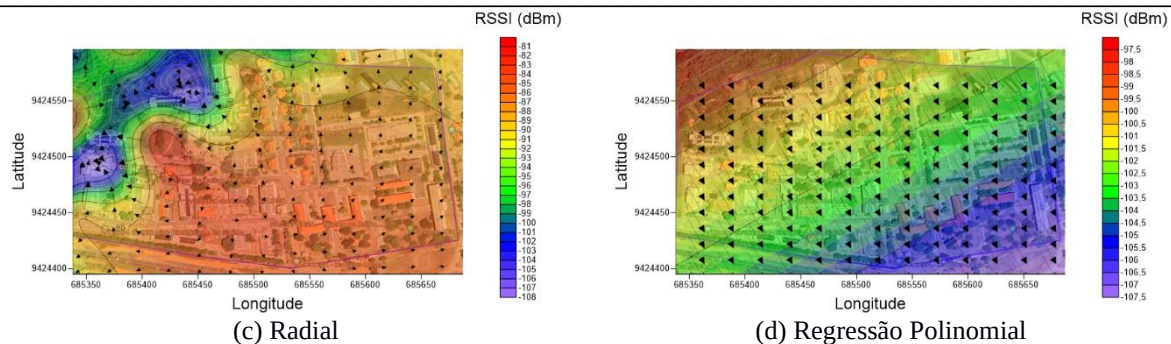


Figura 14. Mapas de contorno resultantes da aplicação de métodos determinísticos na superfície da região Oeste. (Autoria própria)

Na Figura 15 são apresentados os mapas de contorno com valores estimados para a áreas em estudo da região Oeste utilizando o método da Krigagem com variograma Linear e Logarítmico, respectivamente nos itens (a) e (b). As escalas de RSSI tem valores aproximados entre si, com variações entre -107 e -82 dBm e -108 e -83 dBm, é predominante nas regiões centro, sul e leste do mapa valores que variam entre -98 e -92 dBm, em ambos os casos, evidenciando que nestas regiões estão presentes áreas com valores próximos a média em relação a escala principal de cada mapa de contorno, sendo que na parte noroeste existem pequenas variações entre -108 e -102 dBm e casos pontuais de valores próximos a -82 dBm, no qual é visualizado que nestes pontos específicos à uma facilidade para distribuição de potência superficial.

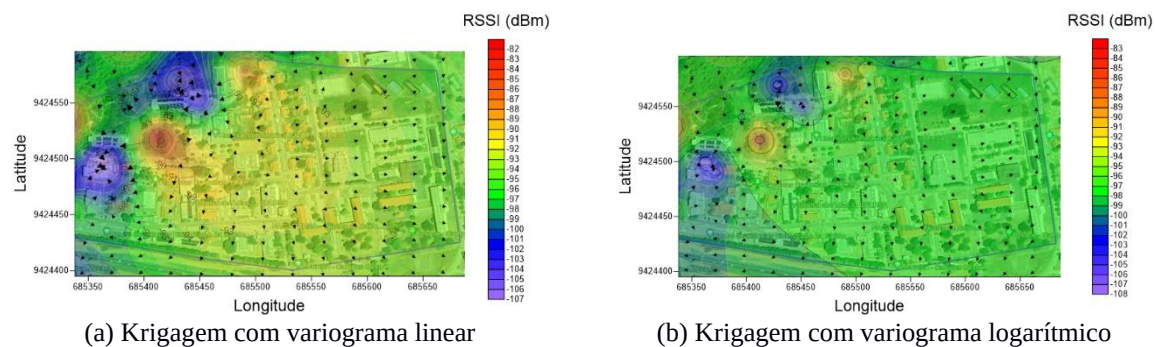


Figura 15. Mapas de contorno resultantes da aplicação do método da Krigagem na superfície da região Oeste. (Autoria própria)

4.3. Análise estatística por validação cruzada dos métodos de interpolação

Para a validação cruzada foram escolhidos 100 pontos aleatórios dentre os aqueles interpolados para o Campus Leste e para o Campus Oeste foram escolhidos 50 pontos também aleatórios. A análise é realizada por meio da comparação da média, mediana, variância e erro quadrático médio (EQM) entre as duas amostras, no qual são chamados de desvios, estes são chamados de desvio da média, desvio da mediana, desvio da variância e desvio do EQM e são apresentados nas Tabelas 3 e 4. A Tabela 3 é referente a região do Campus Leste, enquanto a Tabela 4 é referente a região do Campus Oeste.

Na Tabela 3 o método com maiores desvios é o da média móvel, apresentando uma diferença em módulo de 1,38 em relação à média, 1,45 em relação a mediana das amostras, 49,23 em relação a variância e 7,06 em relação ao EQM, enquanto que o método com menores desvios é o da Krigagem com variograma linear, com uma diferença em módulo de 0,23 em relação ao desvio da média, 0,003 no desvio da mediana, 16,21 para o desvio da variância e 6,86 para o EQM. Por consequência a média móvel apresenta uma estimativa não adequada para analisar as condições de distribuição superficial, enquanto que o método da Krigagem com variograma linear apresenta a distribuição mais adequada.

Tabela 3. Descrição estatística da aplicação da validação cruzada nos diferentes métodos de interpolação no Campus Leste

Método	Média	Mediana	Variância	Erro Quadrático Médio
Curvatura Mínima	-0,51	-0,09	16,80	4,08

Método	Média	Mediana	Variância	Erro Quadrático Médio
Média Móvel	-1,38	-1,45	49,23	7,06
Regressão Polinomial	-1,20	-1,28	48,33	6,97
Curvatura Radial	-0,24	0,25	50,04	6,98
Krigagem Linear	-0,23	0,003	16,21	6,86
Krigagem Logarítmica	-0,37	0,49	4,54	6,79

Na Tabela 4 o método com maiores desvios é o da curvatura radial, apresentando uma diferença em módulo de 0,08 em relação à média, 0,74 em relação a mediana das amostras, 54,95 em relação a variância e 7,38 em relação ao EQM, enquanto que o método com menores desvios é o da Krigagem com variograma logarítmico, com uma diferença em módulo de 0,36 em relação ao desvio da média, 4,48 no desvio da mediana, 4,30 para o desvio da variância e 9,60 para o EQM. Por consequência a curvatura radial apresenta uma estimativa não adequada para analisar as condições de distribuição superficial, enquanto que o método da Krigagem com variograma logarítmico apresenta a distribuição mais adequada para o caso do Campus Oeste.

Tabela 4. Descrição estatística da aplicação da validação cruzada nos diferentes métodos de interpolação no Campus Oeste

Método	Média	Mediana	Variância	Erro Quadrático Médio
Curvatura Mínima	-0,51	-0,09	16,8	4,07
Média Móvel	-0,09	2,68	39,86	6,29
Regressão Polinomial	0,01	2,23	38,57	6,19
Curvatura Radial	-0,08	0,74	54,95	7,38
Krigagem Linear	-0,04	4,87	16,14	10,51
Krigagem Logarítmica	0,36	4,48	4,30	9,60

Para o caso do Campus Leste, ao se utilizar o método da Krigagem com variograma linear é apresentado pelo mapa de contorno na Figura 11 (a) que os locais com maior nível de atenuação no sinal superficial, na frequência em estudo, se encontram na região centro e sudeste do mapa, condizendo com o ambiente encontrado durante as medições que abrangem locais com maior presença de prédios na parte central, e na parte sudeste existe uma vegetação mais densa por conta dos setores das ciências agrárias, enquanto que a parte mais ao noroeste e oeste do mapa estão as áreas com ruas ou campos mais abertos, no qual é visualizado pelo mapa de contorno regiões com maiores níveis de *RSSI* em dBm.

Para o caso do Campus Oeste, ao se utilizar o método da Krigagem com variograma logarítmico é apresentado pelo mapa de contorno na Figura 15 (b) que os locais com maior nível de atenuação no sinal superficial, na frequência em estudo, se encontram na região noroeste, em locais pontuais do mapa, condizendo com o ambiente encontrado durante as medições que abrangem locais com maior presença de prédios e vegetação ao redor, enquanto que as demais regiões apresentam uma distribuição superficial com valores semelhantes de *RSSI* por se ter uma distribuição também semelhante em relação aos prédios, ruas e vegetação.

5. CONCLUSÕES

A partir da utilização de software de georreferenciamento para localização e gerenciamento dos pontos de medição, foram realizadas as campanhas de medições com dispositivo de medição para níveis *RSSI*, associados a cada ponto, e através do software de interpolação espacial foram utilizados métodos determinísticos e o método heurístico da Krigagem para estimar as distribuições superficiais nos Campus Leste e Campus Oeste da UFERSA.

Em cada uma das áreas em estudo existe uma diferente disposição de prédios, vegetação e paredes responsáveis por fenômenos que deterioram a quantidade de potência que é irradiada através dos roteadores. A estrutura da rede das duas regiões está disposta em pontos de acesso do tipo *indoor*, para corredores, salas, laboratórios e como consequência o sinal externo é expresso em medição com valor menor do que a faixa de um sinal bom, adequado para utilização por dispositivos móveis.

Os métodos com maior semelhança com a realidade por apresentarem menores desvios em relação as medidas de dispersão estatísticas quando calculados a partir do método de validação cruzada foram o método da Krigagem com variograma linear e Krigagem com variograma logarítmico para os Campus Leste e Oeste, respectivamente. Os mapas de contorno revelam que a distribuição superficial possui valores que são inferiores a -80 dBm, em sua maioria menores que -100 dBm, então em nenhum ponto medido o valor esteve adequado para conexão e utilização da rede *WI-FI* que é um serviço que deve ser priorizado no ambiente universitário, já que a conexão com a rede de internet é de fundamental importância para realização das atividades acadêmicas. Como proposta para trabalhos futuros é a realização da implementação de redes *outdoor* nas regiões com menores níveis medidos, investigação no possível aumento da potência do sinal distribuído nos *APs* das redes *indoor*, para promover uma conexão adequada aos dispositivos móveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] "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.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] FERREIRA, Sérgio Ferraz Peregrino. Influência do Excesso de Atraso do Canal na Taxa de Transmissão para o Planejamento de Sistemas Celulares. 2010. Tese de Doutorado. Master's thesis, Universidade Federal de Campina Grande.
- [5] CORREIA, Pedro. Modelação e estimação: uma introdução à geoestatística. Curitiba: Numist, 2010.
- [6] OLIVEIRA, R. P., GREGO, C. R., BRANDÃO, Z. N. Geoestatística aplicada na agricultura de precisão utilizando o Vesper (1ª ed.). Brasília-DF: Embrapa, 2015.
- [7] Magazine Luiza. Roteador Tp-link Archer C60 Ac1350 Wireless Dual Band. Disponível em: < <https://m.magazineluiza.com.br/roteador-tp-link-archer-c60-ac1350-wireless-dual-band/p/cdje72948e/in/rtldr/> >. Acesso em: 20 setembro 2023.
- [8] PUNTOMAC. Garmin Gpsmap 78s. Site comercial. Disponível em: < <https://puntomac.com/products/garmin-gpsmap-78s> >. Acesso em: 29 setembro 2023.
- [9] ALIEXPRESS. Antena de 12dbi wifi, antena dupla da longa distância do ganho da faixa 2.4g/5g wifi com conector de rpsma sma para a rede sem fio. Site comercial. Disponível em: < <https://pt.aliexpress.com/item/1005004766373423.html> >. Acesso em: 20 setembro 2023.
- [10] ALIEXPRESS. Antena de 12dbi wifi, antena dupla da longa distância do ganho da faixa 2.4g/5g wifi com conector de rpsma sma para a rede sem fio. Site comercial. Disponível em: < <https://pt.aliexpress.com/item/1005004766373423.html> >. Acesso em: 20 setembro 2023.