

Estudo de Caso de Projeto de Rádio Enlace Entre os Campi UFERSA Mossoró e UFERSA Caraúbas

Mário Henrique de Medeiros Filho ^[1], Humberto Dionísio de Andrade ^[2]

^[1] Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA; mario.filho94364@alunos.ufersa.edu.br;

^[2] Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA; humbertodionisio@ufersa.edu.br.

Resumo: Rotineiramente, os Campi da UFERSA realizam troca de informações importantes e sensíveis, demandando meios de comunicação eficientes e ágeis. Os enlaces de rádio surgem como solução viável como meio de transmissão de dados por possuírem praticidade e aplicabilidade para casos onde se faz necessário a implementação célere e eficiente de um sistema de transmissão de informação. Fatores como complexidade no projeto, relevo, distância e clima são desafios para a realização do projeto de enlace de rádio. Utilizar ferramentas computacionais, como o *software Radio Mobile*® para projetos de enlace de rádio possibilitam obter um panorama prévio da execução do projeto. O presente trabalho expõe três propostas de projeto de enlace de rádio entre o campus Leste da UFERSA Mossoró e o campus UFERSA Caraúbas, utilizando o *Radio Mobile*® para projetar, simular e analisar a viabilidade de cada enlace diante dos desafios presentes para cada proposta. Na análise das simulações concluiu-se que o enlace realizado entre os campi, utilizando uma torre repetidora na Serra Mossoró apresentou melhor resultado com relação ao nível de sinal de recepção e na lógica de implementação e execução do projeto.

Palavras-chave: Rádio Enlace; *Radio Mobile*; Estação Rádio Base

Abstract: *The campuses of UFERSA routinely exchange critical and sensitive information, necessitating efficient and agile communication systems. Radio links emerge as a viable solution for data transmission due to their practicality and applicability in cases where swift and efficient implementation of an information transmission system is required. Factors such as project complexity, terrain, distance, and weather conditions present significant challenges in designing radio links. Computational tools, such as the Radio Mobile® software, allow for a preliminary assessment of project execution. This study presents three proposed radio link designs between UFERSA Mossoró's East campus and UFERSA Caraúbas campus, utilizing Radio Mobile® to design, simulate, and analyze the feasibility of each link in light of the challenges posed by each proposal. The simulation analysis concluded that the link utilizing a repeater tower at Serra Mossoró provided the best results in terms of signal reception and overall project feasibility.*

Key-words: Radio Link; *Radio Mobile*; Radio Base Station

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas de transmissão de informação sofreram constante evolução conforme a necessidade e interesse da sociedade por adquirir ferramentas mais eficientes de comunicação a distância. Diversos setores da sociedade necessitam de sistemas eficientes e confiáveis de comunicação e transmissão de informações, como os próprios Campi da UFERSA, uma vez que é preciso realizar troca de informações administrativas, acadêmicas, econômicas etc.

A respeito dos sistemas de transmissão de dados e voz, a comunicação via rádio é um exemplo do reflexo do avanço das tecnologias de meios de transmissão. O enlace de rádio permite a transmissão de voz e dados pelo espaço livre por meio de ondas eletromagnéticas em determinada frequência através de uma antena transmissora e outra receptora [1]. Tal tecnologia se apresenta como uma alternativa viável para estabelecer uma comunicação exclusiva entre os Campi da UFERSA.

Apesar da aplicabilidade, um projeto de enlace de rádio possui complexidade em sua análise, devido à natureza de estudo e as diversas variáveis que comprometem o resultado da eficiência do projeto. Tendo em vista o tópico citado, as simulações computacionais fornecem grande auxílio em projetos de telecomunicações e promovem resultados próximos da realidade, oferecendo redução de custos de protótipos e erros relacionados a implementação do projeto [2]. O *software Radio Mobile*® possibilita realizar projetos simulados de enlace de rádio ponto a ponto levando em consideração a topografia da região, dados técnicos dos equipamentos utilizados no enlace, além de variáveis referentes a perdas e eficiência do sistema [2].

Tendo em vista as vantagens de uso de *software* de simulação para projeto de enlace de rádio, o presente trabalho tem como objetivo realizar análise de viabilidade de enlace de rádio entre o campus UFERSA Mossoró e campus UFERSA Caraúbas, através de estudos de caso para três situações distintas, utilizando o *Radio Mobile*® como ferramenta de análise de viabilidade técnica para o estudo.

A primeira situação sugere a implementação de uma torre repetidora no ponto médio entre os campi, a segunda situação propõe a adição de uma torre repetidora na Serra Mossoró, e por fim, a última situação busca avaliar a viabilidade de um enlace direto utilizando uma faixa de frequência diferente dos outros casos propostos.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Propagação no espaço livre

Nos primórdios dos sistemas de telecomunicação, a transmissão de informações era baseada na transferência de sinais através de cabos e fios condutores, como pelo telégrafo, por exemplo. A comunicação sem fio se tornou possível através dos estudos sobre a propagação de sinais elétricos através do desprendimento do sinal oscilante para o espaço livre.

Mediante as contribuições do físico inglês Michael Faraday, James Clerk Maxwell percebeu que um campo elétrico variável produzia um campo magnético, e vice-versa. Dessa forma, um campo elétrico variante no tempo irá gerar um campo magnético variante no tempo, criando uma perturbação eletromagnética que se propaga através do espaço, composta por dois campos em recíprocas induções [3].

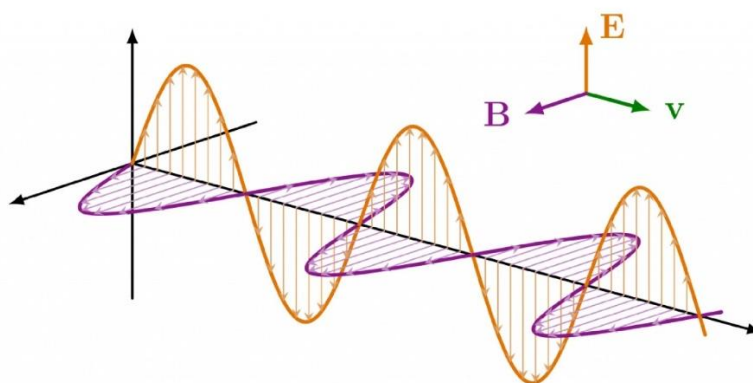


FIGURA 1. Representação de uma onda eletromagnética, onde E , B e v indicam o campo elétrico, o campo magnético e a velocidade de propagação da onda, respectivamente. Fonte: [4].

A Figura 1 expõe a natureza da propagação da onda eletromagnética, vale ressaltar que uma onda sempre será perpendicular com relação a outra, mas ambas percorrem a mesma direção de propagação. A frequência na qual a onda eletromagnética oscila é determinante no que diz respeito as características de propagação no espaço.

Os valores de frequência são usualmente divididos em faixas, cada faixa de frequência de propagação de ondas eletromagnéticas possui características distintas para os mecanismos de propagação e são aplicáveis para diferentes situações, ademais, as faixas de frequência podem ser licenciadas ou não. As faixas de frequências de 2,4 GHz e 5 GHz podem ser utilizadas para enlaces de rádio sem a necessidade de autorização, por serem faixas não licenciadas [3]. O presente projeto utilizará ambas as faixas de frequência para analisar a viabilidade do enlace de rádio entre os Campi da UFRSA para transferência de dados.

2.2. Rádio Enlace

Assim como a comunicação via satélite, o enlace de rádio se destaca na área de telecomunicação pela não necessidade de um meio físico metálico interligando os elementos comunicantes para seu funcionamento, ou seja, não é preciso existir conexão física entre as antenas de comunicação. Apesar da comunicação via cabo e/ou fibra possuir vantagens no que diz respeito a capacidade de transmissão, o enlace de rádio possui agilidade e facilidade na implementação. O enlace de rádio propicia comunicação entre duas pontas, transmitindo a informação de uma estação a outra, podendo ser entre operadoras e clientes [5]. A Figura 2 mostra um exemplo de enlace de rádio.

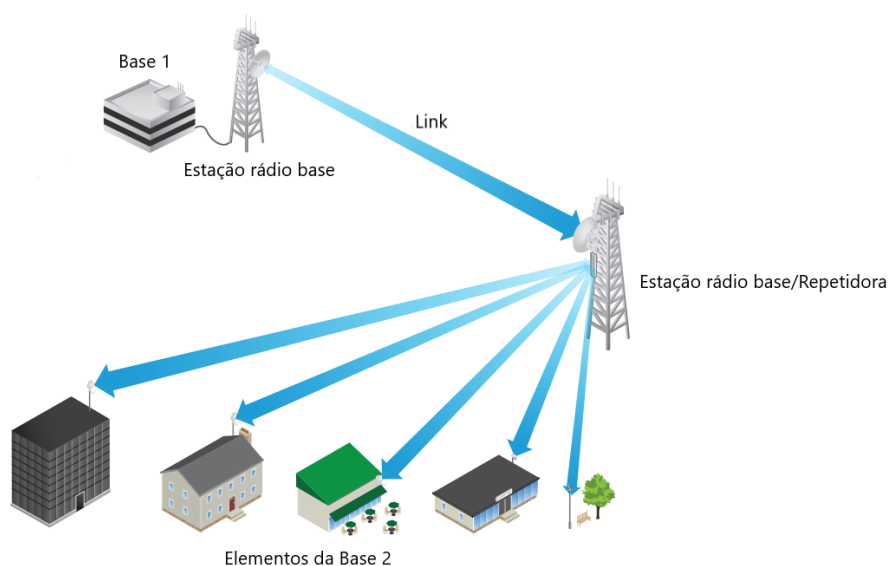


FIGURA 2. Sistema de comunicação com enlace de rádio. Fonte: Adaptado de [8].

Para o projeto e implementação do enlace, se faz necessário determinar a frequência de operação do enlace, que foi discutida na seção anterior deste trabalho, assim como a zona de Fresnel presente entre a estrutura transmissora e receptora. A zona de Fresnel pode ser entendida como a área elíptica em torno da linha de visada direta do enlace, onde obstáculos presentes na zona podem resultar em perdas na linha de visada direta entre os elementos comunicadores [5]. Obstruções reflexivas ao longo da zona de Fresnel resultará em um sinal fora de fase, diminuindo a potência do sinal. A remoção de bloqueios e obstáculos da linha visada é necessário para que o receptor obtenha uma boa rádio comunicação [5].

A velocidade de implementação do rádio enlace, aliado a características, como geografia da região e a fragilidade na instalação de fibra, mostram a aplicabilidade do projeto de enlace de rádio para situações onde existe o favorecimento topográfico e necessidade de rápida execução da comunicação.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho consiste em três estudos de caso a respeito da análise de viabilidade de um projeto de enlace de rádio entre o campus UFERSA Mossoró e campus UFERSA Caraúbas, utilizando o *software* de simulação *Radio Mobile*[®], seguido pela análise comparativa entre os casos explorados e constatando o caso mais aplicável para a proposta do projeto.

O *Radio Mobile*[®] é um *software* livre para uso, capaz de realizar simulação de enlaces de rádio ponto a ponto. É uma ferramenta usada para prever a performance de um sistema de rádio, usando os dados digitais de elevação do terreno para extração automática do perfil do caminho entre o emissor e receptor [6]. Os dados geográficos, como os pontos de interesse, topografia, e curva de relevo podem ser extraídos diretamente do *Radio Mobile*[®], ou importados da plataforma *Google Earth* [7]. No presente trabalho, foi utilizado os dados disponibilizados no *Google Earth*. A Figura 3 apresenta a tela inicial do *software Radio Mobile*[®].

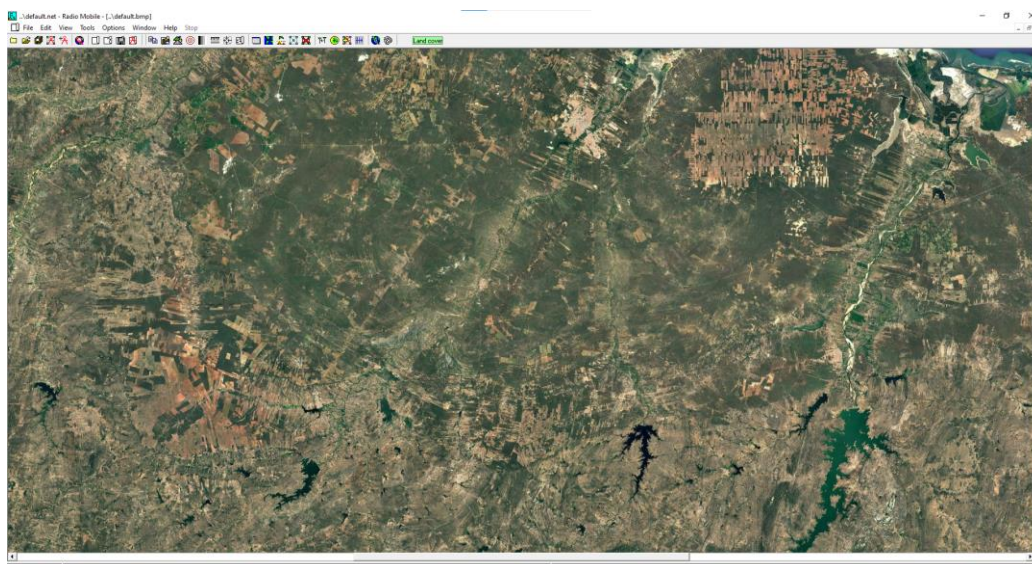


FIGURA 3. Interface inicial do *Radio Mobile*®. Fonte: Autoria própria.

A distância compreendida entre o campus leste da UFERSA Mossoró e o campus UFERSA Caraúbas é de aproximadamente 69 km em uma linha reta, que configura o enlace ponto a ponto entre as duas localidades. A distância é uma informação determinante com relação a escolha do modelo de antena, e a curva de relevo formada entre os dois pontos irá determinar a influência da topografia, atuante como obstáculo reflexivo e refratário na zona de Fresnel.

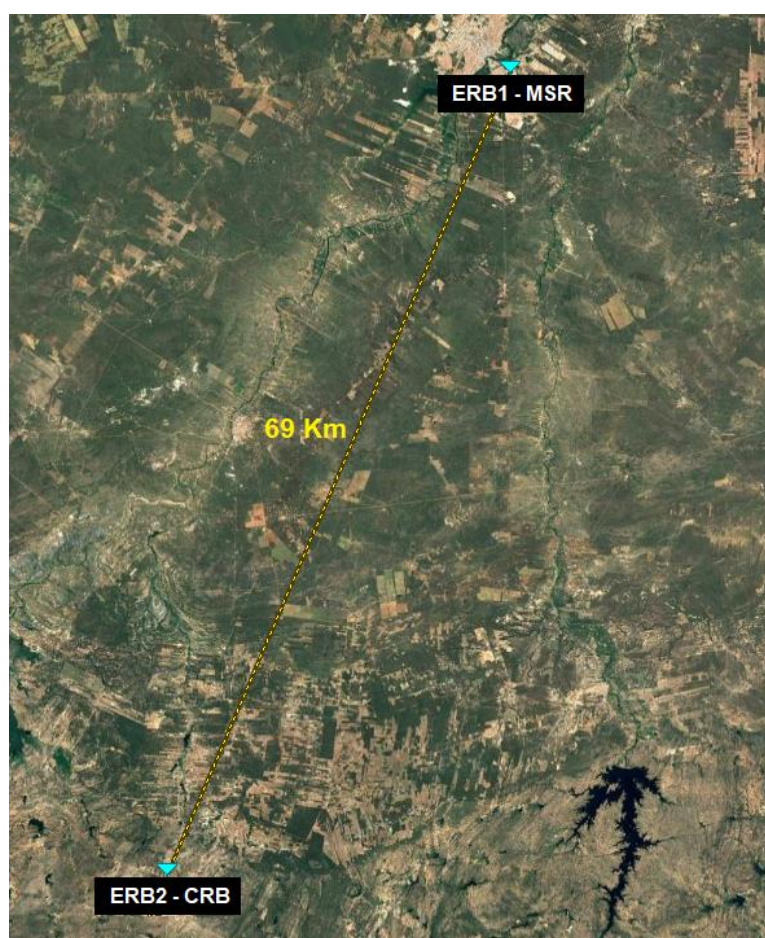


FIGURA 4. Mapa com visada direta entre o campus leste da UFERSA Mossoró e o campus UFERSA Caraúbas. Fonte: Autoria própria.

Na Figura 4, é evidenciado os pontos de interesse no mapa da região. O ponto denominado ERB1-MSR refere-se à estação rádio base que estará situada no campus leste da UFERSA Mossoró, enquanto que o ponto ERB2-CRB diz respeito a estação rádio base no campus UFERSA Caraúbas, onde tais estações serão compostas pela torre de transmissão, juntamente com antena e o rádio. Devido ao comportamento da curva de relevo observada entre os elementos do enlace, se faz necessário traçar estratégias para estabelecer uma linha de visada com menor obstrução possível.

Inicialmente, foi realizado o dimensionamento do sistema no *software Radio Mobile®* partindo da escolha da estação base e da antena a ser utilizada em cada torre de transmissão. A antena *RocketDish RD-5G34* e a estação de rádio *Rocket M5* foram utilizadas para a montagem da simulação. A escolha dos equipamentos utilizados para simulação foi motivada pela disponibilidade do catálogo da fabricante Ubiquiti, constando dados digitais essenciais para predefinição do comportamento do sistema. A figura 5 ilustra os equipamentos definidos para utilização nas simulações.

A figura 6 expõe a tela de configurações de propriedades de rede, onde no campo “*Antenna type*” é feito a importação do arquivo digital contendo o perfil de propagação da antena. Motivado pela disponibilidade do perfil de antena, manual de dados técnicos e pela disponibilidade de equipamentos que operam nas faixas de frequência não licenciadas a antena *RocketDish RD-5G34* foi selecionada por ser o equipamento com maior ganho disponível no catálogo. Já a escolha da estação de rádio *Rocket M5* se deu pela compatibilidade com a antena escolhida e pela faixa de operação desejada para análise.

A estação base *Rocket M5* é projetada para funcionamento em transmissões ponto a ponto de dados em frequência 5 GHz, oferecendo funcionamento ideal para enlaces de longas distâncias, enquanto que a antena RD-5G34 oferece perfil de alta diretividade, criada para enlace ponto a ponto, possuindo ganho de 34 dBi e projetada para operar com faixas de frequência de 2,4 GHz, 3 GHz e 5 GHz [8].

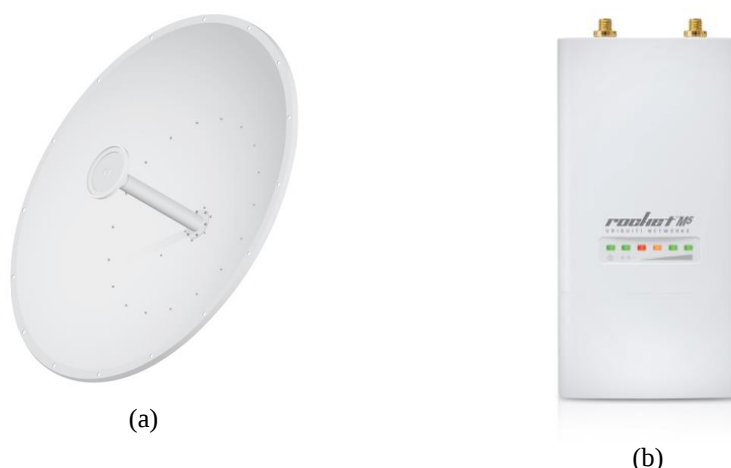


FIGURA 5. (a) Antena *RocketDish RD-5G34*, (b) Estação de rádio *Rocket M5*. Fonte: Adaptado de [8].

As faixas de frequência de 2,4 GHz, 3 GHz e 5 GHz são destinadas a serviços de telecomunicação, de acordo com a Anatel, mas somente as faixas 2,4 GHz e 5 GHz se classificam como autorizadas e liberadas para uso em radiocomunicação, tendo em vista que não se enquadram entre as redes privadas do Brasil [9,10].

As características da estação de rádio e da antena utilizada no sistema de transmissão são adicionadas ao *software* na montagem da rede antes do estabelecimento do local das torres. A Figura 6 expõe a tela de configuração das propriedades da rede no *Radio Mobile®*, constando o ganho da antena, nível de sensibilidade do rádio, potência de saída do rádio, altura da antena com relação ao chão e perdas relacionadas a cabos e conexões.

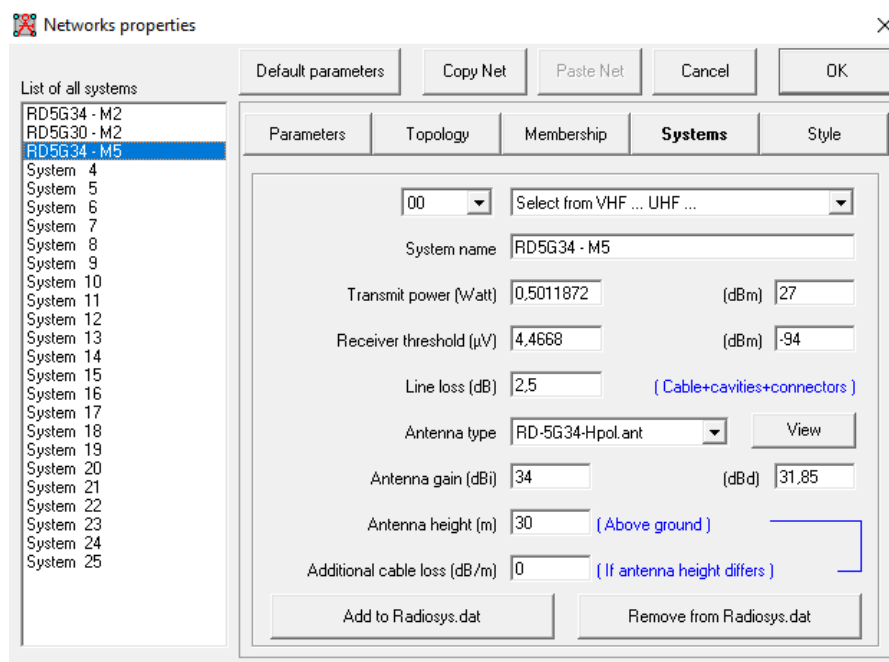


FIGURA 6. Tela de configuração das propriedades de redes do *software Radio Mobile*[®]. Fonte: Autoria própria.

A sessão a seguir discorre a respeito de três estudos de caso alternativos de enlace, com a finalidade de possibilitar a comunicação apesar da configuração topográfica entre os pontos de interesse. Dois dos três casos foram analisados a partir de simulações utilizando a faixa de frequência de 5 GHz, aplicando o intervalo de 4900 MHz a 5800 MHz, enquanto que o último caso, a faixa de frequência 2,4 GHz foi usada, esta operando no intervalo de 2400 MHz a 2485 MHz.

4. RESULTADOS

A viabilidade do sistema é assegurada ao obter um nível de recepção acima do nível de sensibilidade da estação de rádio utilizada, para a *Rocket M5* o valor desse parâmetro é de -94 dBm. O sistema, para todas as simulações realizadas, foi configurado com torres de 30 m de altura com 2,5 dB de perdas relacionada a conectores e cabos. Com relação a potência de transmissão, o valor de 501 mW (27 dBm) foi utilizado para as simulações na faixa 5GHz, e o valor 631 mW (28 dBm) foi utilizado para a simulação na faixa de frequência de 2,4 GHz. [2,8].

A partir do dimensionamento do sistema no *Radio Mobile*[®], o enlace ponto a ponto entre a ERB1-MSR e ERB2-CRB foi executado, com a finalidade de observar o comportamento e viabilidade da transmissão de visada direta entre os Campi na faixa de frequência 5 GHz, como observado na Figura 7.

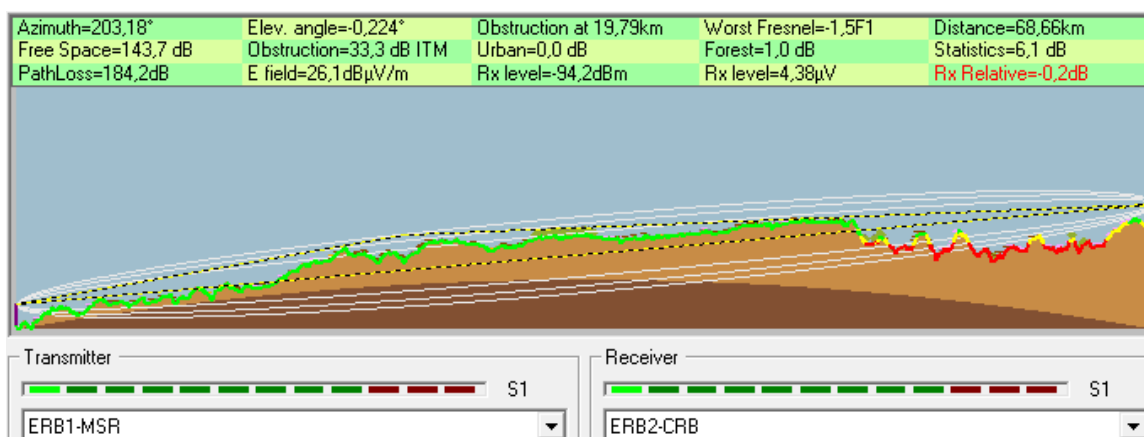


FIGURA 7. Simulação do link direto entre estação rádio base campus leste UFERSA Mossoró (ERB1-MSR) e estação rádio base campus UFERSA Caraúbas (ERB2-CRB) na faixa de frequência 5GHz. Fonte: Autoria própria.

A link direto entre a ERB1-MSR e ERB2-CRB apresentou nível de sinal de recepção estimado de -94,2 dBm, com atenuação total de 184,2 dB, resultando em uma comunicação inviável, uma vez que o nível de sinal de recepção encontra-se abaixo da sensibilidade do receptor (-94 dBm). É possível observar que a configuração do relevo entre as antenas encontra-se obstruindo a zona de Fresnel. Esta é representada pelas linhas brancas mostradas na Figura 7. A obstrução por parte do relevo absorve aproximadamente 33,3 dB do sinal transmitido.

A partir da adoção de torres repetidoras localizadas em relevo elevado, é possível realizar a desobstrução da zona de Fresnel do enlace, viabilizando a comunicação. A Figura 8 expõe a configuração de dois enlaces possíveis a partir da adição de torres de repetição, tratando-se de dois casos de estudo distintos. O enlace 1 propõe a adição de uma torre de repetição no ponto médio entre a ERB1-MSR e ERB2-CRB, nomeada de TR-MSR-CRB (Torre repetidora-Mossoró-Caraúbas). O enlace 2 sugere o incremento de uma torre de repetição na Serra Mossoró, nomeada de TR-SM (Torre repetidora-Serra Mossoró). A serra foi escolhida como local de implementação da TR-SM devido a sua altitude e facilidade de acesso.

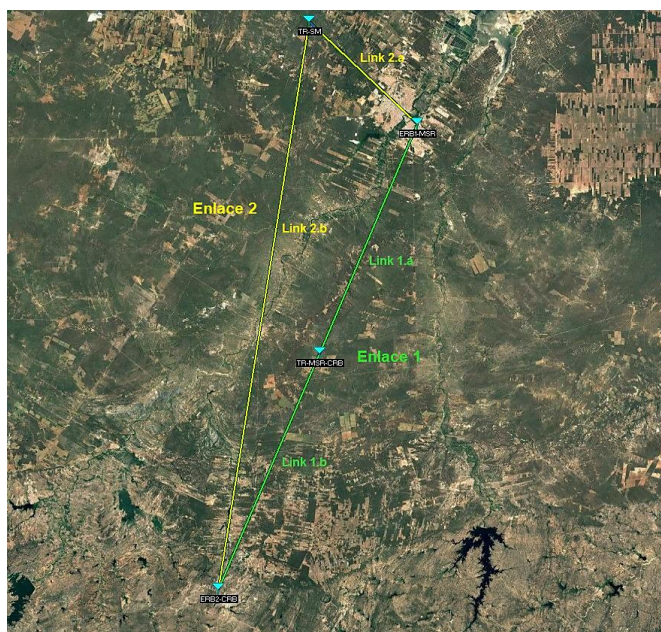


FIGURA 8. Configuração de enlaces propostos para simulação. Fonte: Autoria própria.

Os pontos TR-MSR-CRB e TR-SM também estão compostas pelo rádio *Rocket M5* e antena *RocketDish RD-5G34* para as simulações feitas. A adição de uma torre para cada caso de enlace a ser estudado resulta na adição de um link para cada enlace, sendo necessário que cada link seja viável para comunicação final do sistema.

4.1. Enlace 1 na faixa de frequência 5 GHz

4.1.1. Link 1.a

O nível de sinal de recepção apresentado no link entre a ERB1-MSR e TR-MSR-CRB foi de -72,5 dBm como pode ser observado na Figura 9, configurando-se acima do limiar de sensibilidade do receptor, com uma margem de operação de 21,5 dBm, viabilizando o link. A margem se apresenta como uma folga importante para garantir operação para adversidades inesperadas, como chuvas, por exemplo [2]. Mesmo com sinal de recepção acima da sensibilidade do receptor, percebe-se ainda obstrução do relevo na zona de Fresnel entre as torres, resultando em uma atenuação de 17,2 dB por parte da obstrução da visada direta.

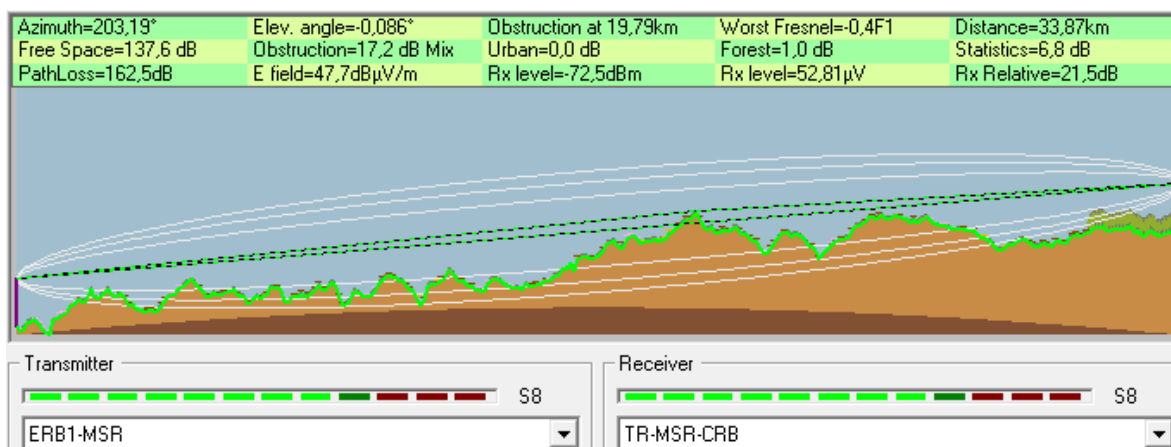


FIGURA 9. Simulação do link 1.a entre estação rádio base campus leste UFERSA Mossoró (ERB1-MSR) e torre repetidora Mossoró-Caraúbas (TR-MSR-CRB). Fonte: Autoria própria.

4.1.2. Link 1.b

O sinal recebido na TR-MSR-CRB é transmitido através do link com a ERB2-CRB, com um nível de sinal de recepção de -55,3 dBm e com atenuação total de 145,3 dB. O nível de sinal recebido confirma a viabilidade do link por uma margem de operação de 38,7 dBm. Isso se dá pela menor obstrução na zona de Fresnel observada na visada entre TR-MSR-CRB e ERB2-CRB em comparação com o link 1.a, como pode ser observado na Figura 10.

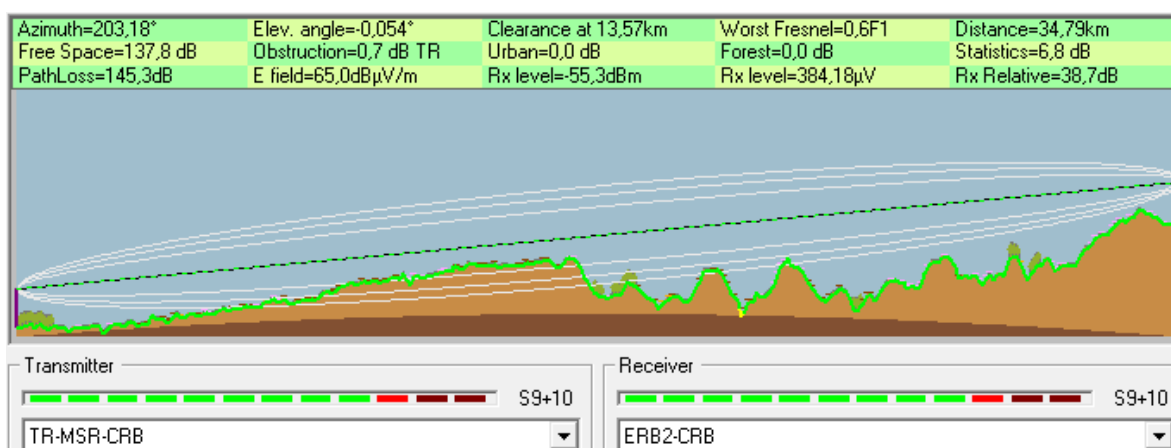


FIGURA 10. Simulação do link 1.b entre torre repetidora Mossoró-Caraúbas (TR-MSR-CRB) e estação rádio base campus UFERSA Caraúbas (ERB2-CRB). Fonte: Autoria própria.

4.2. Enlace 2 na faixa de frequência 5 GHz

4.2.1. Link 2.a

A Serra Mossoró está a aproximadamente 20 km do campus leste da UFERSA Mossoró em uma linha reta. Devido a diferença de elevação no relevo entre as localidades, é possível obter uma comunicação limpa e sem obstrução, como exposto na Figura 11. O nível de sinal de recepção de aproximadamente -47,4 dBm configura um link viável com folga na margem de operação de 46,6 dBm, caracterizando-se como o link mais eficiente dentre os enlaces. Isso se dá pela zona de Fresnel totalmente desobstruída entre as antenas, além da distância reduzida entre as torres em comparação com os demais links mostrados anteriormente.

O *Radio Mobile*® permite alterar parâmetros da configuração do enlace de forma ágil, para os mesmos pontos de transmissão e recepção. Devido as características favoráveis ao link, foi realizado a simulação do link utilizando a antena *RocketDish* RD-5G30 dotada de 30 dBi de potência para verificar o padrão de comportamento da transmissão. Foi observado um nível de sinal de recepção de -58,3 dBm, evidenciando um link viável utilizando uma antena com menor potência e menor custo de mercado.

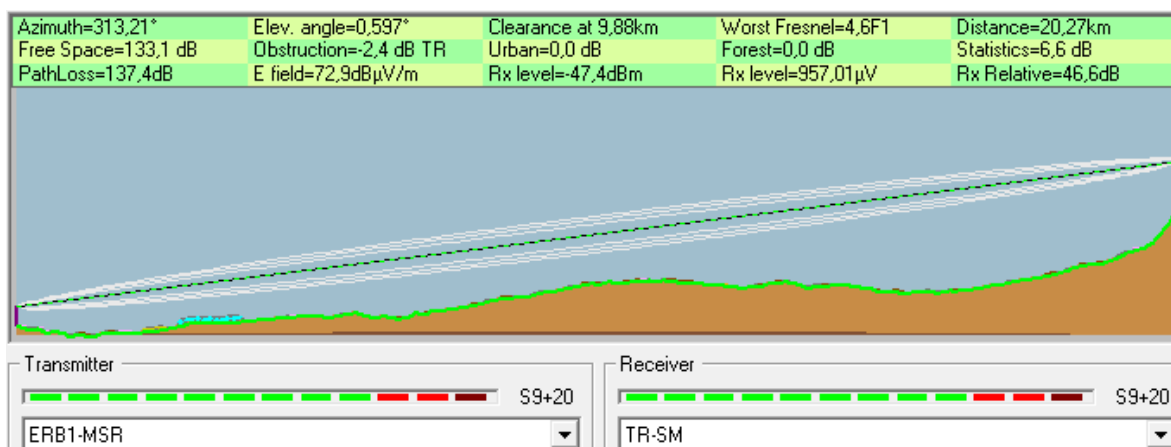


FIGURA 11. Simulação do link 2.a entre estação rádio base campus UFERSA Mossoró (ERB1-MSR) e torre repeditora Serra Mossoró (TR-SM). Fonte: Autoria própria.

4.2.2. Link 2.b

Semelhante ao link entre a ERB1-MSR e a TR-SM, o link entre a TR-SM e ERB2-CRB foi estabelecido com interferência mínima do relevo na zona de Fresnel, com um nível de sinal de recepção de -62,7 dBm, viabilizando o link com 31,3 dBm de folga na margem de operação, como exposto na Figura 12. Pode-se observar que mesmo não havendo obstáculos reflexivos compreendido na zona de Fresnel, a margem de operação apresentou valor próximo ao link 1.b, visto na Figura 10, destacando que o fator distância possui grande influência na atenuação do sinal.

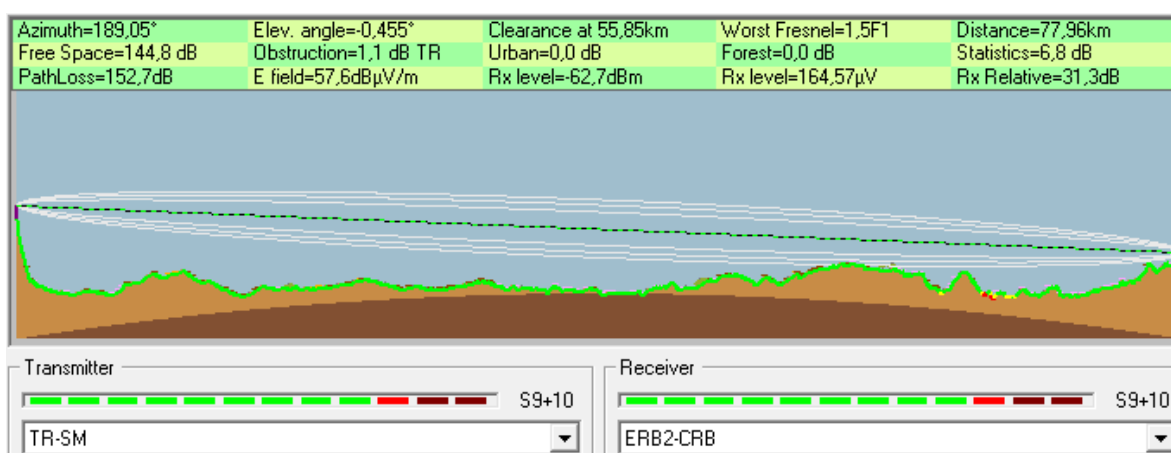


FIGURA 12. Simulação do link 2.b entre torre repeditora Serra Mossoró (TR-SM) e estação rádio base campus UFERSA Caraúbas (ERB2-CRB). Fonte: Autoria própria.

4.3. Enlace direto na faixa de frequência 2,4 GHz

Em adicional, por meio da aplicabilidade do *software*, um terceiro caso também foi simulado e analisado, tratando-se da comunicação direta entre ERB1-MSR e ERB2-CRB, similar ao realizado e exposto na Figura 7, porém utilizando a faixa de frequência 2,4 GHz.

Para a realização da simulação em uma faixa de frequência distinta, se faz necessário a adoção de uma estação base de rádio diferente, projetada para operar na frequência desejada. A *Rocket M2* realiza a comunicação na faixa de frequência 2,4 GHz possuindo nível de sensibilidade de -97 dBm na recepção, além de 631 mW (28 dBm) de potência de saída para transmissão [8]. A antena *RocketDish RD-5G34* se manteve para este caso, devido a capacidade de operação para a faixa e frequência escolhida, além do alto ganho e diretividade.

Apresentando um nível de sinal de recepção de -81,8 dBm, a simulação do link direto utilizando a estação de rádio *Rocket M2* e adotando a faixa de frequência de 2,4 GHz provou viabilidade e comunicação com folga de operação e 15,2 dB. A atenuação total pelo caminho percorrido do sinal foi de 172,8 dB, podendo apresentar valor maior para situações climáticas não previstas, diminuindo assim a folga de operação. É importante destacar que para este caso, a atenuação por obstrução foi de 28,6 dB, apresentando valor superior ao caso do enlace direto na faixa de frequência 5 GHz. Isso ocorre pelo fato da zona de Fresnel

possuir maior área para o caso de 2,4 GHz, uma vez que a zona de Fresnel varia com o valor de frequência de transmissão.

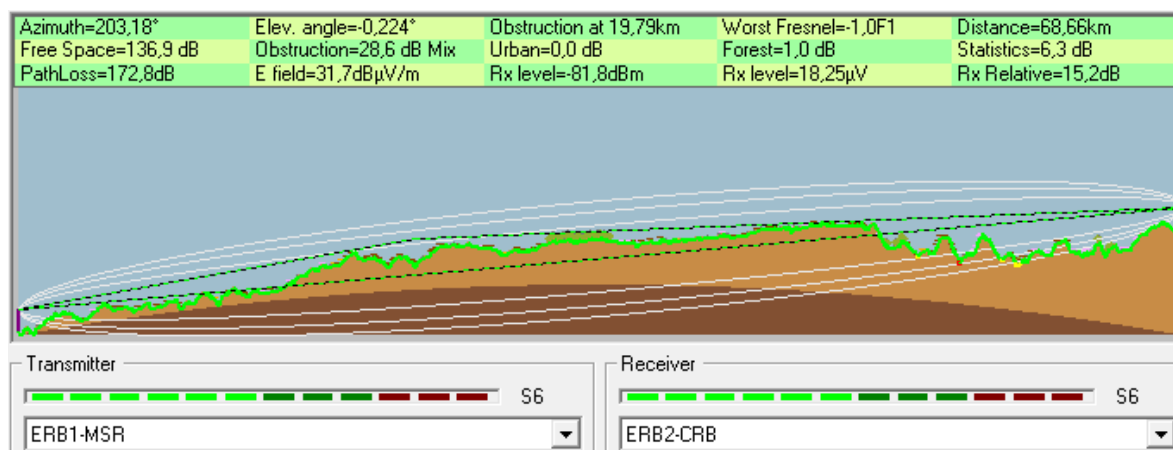


FIGURA 13. Simulação do link direto entre estação rádio base campus leste UFERSA Mossoró (ERB1-MSR) e estação rádio base campus UFERSA Caraúbas (ERB2-CRB) na faixa de frequência 2,4GHz. Fonte: Autoria própria.

4.4. Análise dos Links

Através das simulações dos links propostos para os enlaces, é possível a identificação dos pontos críticos para execução do projeto de enlace, assim como a decisão da estratégia a ser tomada para estabelecer fisicamente os equipamentos. A Tabela 1 traz um comparativo direto entre cada link, informando a distância entre os elementos transmissor e receptor, assim como o nível de sinal de recepção e a viabilidade do link.

TABELA 1. Tabela comparativa entre os links simulados (Autoria própria).

Enlace	Faixa de frequência	Links	Ponto transmissor	Ponto Receptor	Distância	Nível de Sinal de Recepção	Nível de sensibilidade	Viabilidade do link
Enlace direto	5 GHz	link direto	ERB1-MSR	ERB2-CRB	68,66 km	-94,2 dBm	-94 dBm	Inviável
Enlace 1	5 GHz	link 1.a	ERB1-MSR	TR-MSR-CRB	33,87 km	-72,5 dBm	-94 dBm	Viável
	5 GHz	link 1.b	TR-MSR-CRB	ERB2-CRB	34,79 km	-55,3 dBm	-94 dBm	Viável
Enlace 2	5 GHz	link 2.a	ERB1-MSR	TR-SM	20,27 km	-47,4 dBm	-94 dBm	Viável
	5 GHz	link 2.b	TR-SM	ERB2-CRB	77,96 km	-62,7 dBm	-94 dBm	Viável
Enlace direto	2,4 GHz	link direto	ERB1-MSR	ERB2-CRB	68,66 km	-81,8 dBm	-97 dBm	Viável

Os enlaces 1 e 2 na faixa de frequência 5 GHz, e o enlace direto em 2,4 GHz apresentam viabilidade em seus respectivos links, possuindo sinal de recepção acima do limiar de sensibilidade da estação base *Rocket M5* e *Rocket M2*, operando dentro da faixa 5GHz e 2,4 GHz, respectivamente. O pior caso analisado entre os links simulados dentre os enlaces propostos pelo trabalho, foi o link direto na faixa de frequência de 2,4 GHz. O nível de sinal de recepção obtido para este caso, apesar de próximo ao limiar de sensibilidade da estação de rádio com relação aos demais links, constou com folga de operação superior a 15 dB, garantindo operabilidade em situações adversas não previstas. É pertinente para o link direto na faixa de frequência de 2,4 GHz a adição de amplificadores de sinal na estação rádio base receptora, com o objetivo de assegurar a comunicação para situações não previstas.

As modificações de parâmetros de projeto influenciam diretamente nos resultados referente aos links, ações como aumentar a altura das torres, usar antenas com maior ganho, utilizar faixas de frequência diferentes, reposicionar e até mesmo adicionar torres impactam diretamente no sinal de recepção do link.

5. CONCLUSÃO

Diante da proposta de estabelecer a comunicação por enlace de rádio entre os Campi da UFRSA Mossoró e UFRSA Caraúbas, aliado aos estudos dos casos por meio do *Radio Mobile*[®], constata-se que o enlace 2 apresentou-se como alternativa mais interessante, do ponto de vista de engenharia no que diz respeito a nível de sinal de recepção e logística de construção e acesso ao local de implementação da torre repetidora. O ponto TR-SM é dotado de fácil acesso, auxiliando na construção de montagem da torre TR-SM, enquanto que não há informação a respeito de acesso ao ponto TR-MSR-CRB, dificultando a visita em loco para análise e implementação da torre. Apesar da distância de aproximadamente 78 km entre TR-SM e ERB2-CRB, o link categorizou-se como viável, com folga de operação superior a 30 dBm, superando a margem do link 1.a. O enlace 2 também oferece a possibilidade de reduzir gastos do link 2.a adotando antenas de menor ganho, mantendo a eficiência do link.

Devido as diferentes características de propagação do sinal para diferentes faixas de frequência, o enlace direto na faixa de 2,4 GHz possibilitou a comunicação direta onde para a faixa de frequência de 5 GHz não foi possível. É pertinente, para estudos futuros, analisar as características do uso de frequências mais baixas na comunicação a rádio, assim como o impacto do nível de sinal recebido na qualidade da transmissão de dados, verificando a viabilidade para o caso de enlace direto na faixa de 2,4 GHz. Para faixas de frequência mais baixas, haverá aumento no nível de sinal de recepção, porém, consequentemente ocorrerá diminuição na banda do canal, impactando a capacidade de transmissão.

Esclarecido pela análise, conclui-se que a ferramenta é importante para o fortalecimento dos conhecimentos sobre rádio comunicação e suas características, como especificações de antenas, parâmetros de comunicação de micro-ondas, zona de Fresnel e etc. Através do *software* é possível obter um panorama de como será o projeto executado e sua performance. Mesmo com os aspectos apresentados pelo *software*, a visita em loco para fins de engenharia de construção é primordial para a execução final do sistema, assim como a análise custo-benefício da execução do enlace.

REFERÊNCIAS

- [1] PIAU, Diego de Brito; CARRIJO, Gilberto Arantes. PROJETO DE DIMENSIONAMENTO DE ENLACE DE RÁDIO. *Ciência & Engenharia: (Science & Engineering Journal)*, Uberlândia, p. 81-90, dez. 2014.
- [2] ANJOS, André Antônio dos; Silva Junior, Ricardo Augusto da; COGLIATTI, Rodrigo. DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA MICRO-ONDAS PARA DISTRIBUIÇÃO DE SINAIS DE TV DIGITAL USANDO O SOFTWARE RADIO MOBILE. *Forscience*, [S.L], v. 2, n. 1, p. 68-78, ago. 2014.
- [3] MANITO, Rodrigo da Rocha. PROJETO DE VIABILIDADE DE RÁDIO ENLACE. 80 f. Monografia – Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.
- [4] HOSTI, B. P. As equações de Maxwell e a revolução do eletromagnetismo. *Espaço-Tempo*, 2021. Disponível em: <https://www.espacotempo.com.br/equacoes-de-maxwell-eletromagnetismo>. Acesso em: 05 out. 2024.
- [5] BARROS JÚNIOR, José Iran Reinaldo. Análise de desempenho de um enlace ponto a ponto entre Meruoca e Sobral. 52 f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Estadual Vale do Acaraú, Sobral, 2017.
- [6] CONDÉ, R., Radio Mobile, 2023. Disponível em: <http://www.ve2dbe.com/english1.html>. Acesso em: 03 out. 2024.
- [7] GOOGLE EARTH. Versão 7.3.6. Mountain View, CA: Google Inc., 2023. Disponível em: <https://www.google.com/earth/>. Acesso em: 28 set. 2024.
- [8] IPS WIRELESS – ANTENNA DATA OVERVIEW. Disponível em: <https://help.uisp.com/hc/en-us/articles/22590866238359-ISP-Wireless-Antenna-Data-Overview>. Acesso em: 03 out. 2024.
- [9] AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES (Anatel). Redes Privativas. Disponível em: <https://www.gov.br/anatel/pt-br/regulado/radiofrequencia/redes-privativas>. Acesso em: 14 out. 2024.
- [10] BRASIL. Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL). Resolução nº 759, de 19 de janeiro de 2023. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, 23 jan. 2023.