



**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
UNIDADE ARAXÁ**

WILLIAM LUIZ DO NASCIMENTO

**OTIMIZAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO DE REDE SEM FIO EM UMA MINA
A CÉU ABERTO**

ARAXÁ-MG

2022

WILLIAM LUIZ DO NASCIMENTO

**OTIMIZAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO DE REDE SEM FIO EM UMA MINA
A CÉU ABERTO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Centro Federal de
Educação Tecnológica de Minas Gerais -
Unidade Araxá, como requisito parcial para
obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia de Automação Industrial.

Orientador(a): Prof. Me. Frederico
Duarte Fagundes

ARAXÁ-MG

2022

WILLIAM LUIZ DO NASCIMENTO

**OTIMIZAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO DE REDE SEM FIO EM UMA MINA
A CÉU ABERTO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - Unidade Araxá,
como requisito parcial para obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia de Automação Industrial

Araxá, 11 de Fevereiro de 2022.

BANCA AVALIADORA

Orientador: Frederico Duarte Fagundes
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - Unidade Araxá

Membro Titular: Herbert Radispiel Filho
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - Unidade Araxá

Membro Titular: Sérgio Luiz Da Silva Pithan
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - Unidade Araxá

Membro Suplente: Domingos Sávio de Resende
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - Unidade Araxá

AGRADECIMENTOS

À Deus, por me fornecer saúde para concluir essa etapa tão importante.

Agradeço, em especial, à minha mãe Odete que sempre foi meu alicerce, e à meu pai Paulo que mesmo não estando mais presente sempre foi um exemplo para mim. À minha namorada Camila que sempre foi parte dessa caminhada me apoiando e incentivando.

Ao professor Frederico Duarte Fagundes, pela dedicação pelos ensinamentos e por tornar possível a elaboração desse trabalho.

Aos professores Sérgio Luiz Da Silva Pithan e Herbert Radispiel Filho por aceitarem o convite de participar da banca de defesa deste trabalho.

Aos meus colegas e amigos, meu muito obrigado por fazerem parte dessa jornada.

RESUMO

Na busca por melhoria da otimização na extração mineral surgiram também novas formas de controlar a produção, desde a comunicação analógica e partindo para meios digitais e mais dinâmicos. A comunicação digital é mais confiável e possibilita maior quantidade de informações, além dos dados em tempo real, permitindo ações com maior assertividade. A constante mudança topográfica na mineração exige uma certa flexibilidade dos meios de comunicação, essa demanda é suprida por redes de comunicação digital sem fio. Apesar disso, como nem sempre o planejamento de lavra é feito em conjunto com a ampliação da cobertura da rede, criam-se pontos sem acesso a rede na mina. Este trabalho teve como finalidade realizar um estudo de caso sobre a cobertura de rede sem fio em uma mina, onde foi realizada uma análise da distribuição de rede, utilizando um levantamento de campo ou Site Survey, assim identificando os pontos que carecem de melhorias por toda a topografia da mina. Também foi objetivo do trabalho verificar o plano de lavra, avaliando os pontos em que as estações móveis de comunicação possam ser realocadas, a fim de otimizar a área de cobertura sem prejudicar a operação de mina nos pontos de extração. Foi realizada análise das frequências utilizadas a fim de diversificar os canais utilizados na distribuição da rede, reduzindo a geração de ruído. Além disso, padronizou-se os enlaces feito entre as estações móveis com o servidor em 5GHz, deixando a faixa de frequência 2,4GHz exclusiva para a comunicação realizada entre os caminhões e equipamentos de carga com os pontos de acesso. Com as alterações realizadas, foram obtidos novos dados demonstrando melhoria no acesso à rede, através da redução do ruído e da realocação das estações móveis. Os dados mostram influências positivas nas modificações realizadas, assim cumprindo o papel proposto inicialmente.

Palavras-Chave: Rede sem fio. Sistemas Embarcados. Mina a Céu Aberto. Sistema de Despacho.

ABSTRACT

In the search for improvements in the optimization of mineral extraction, new ways of controlling production have emerged, from analog communication to the most dynamic digital media. Digital communication is more reliable and allows for more information, in addition to real-time data, allowing for more assertive actions. The constant topographic change in mining requires a certain flexibility of the means of communication, this demand is supplied by wireless digital communication networks. Despite this, as mining planning is not always done together with the expansion of network coverage, points without access to the mine network are created. This work aims to carry out a case study on wireless network coverage in a mine. Thus, a network distribution analysis was performed using a field survey or Site Survey to identify the points in need of improvement throughout the mine topography. It is also an objective of the work to verify the mining plan by evaluating the points where the mobile communication towers can be relocated, to optimize the coverage area without harming the mine operation at the extraction points. Analyzing the frequencies used to diversify the channels used in the distribution of the network and reducing noise generation was also studied. And, finally, standardize the links made between the mobile towers and the server at 5GHz, leaving the 2.4GHz frequency band exclusively for communication between trucks and cargo equipment with access points. Therefore, with the changes made, new data and notorious positive influences were obtained in the changes, fulfilling the role initially proposed.

Keywords: Wireless network. Embedded systems. Open pit mine. Dispatch System

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - Mina de fosfato da Mosaic Fertilizantes em Tapira – MG.....	15
FIGURA 2 - Diferenças entre Microprocessador e Microcontrolador.	19
FIGURA 3 - Fluxo de informação obtido pela telemetria.	21
FIGURA 4 - Espectro de Frequência ISM	23
FIGURA 5 - Faixa de frequência de uso ISM nos países.....	24
FIGURA 6 - FDD e TDD.....	26
FIGURA 7 - Esquema FDMA	27
FIGURA 8 - Esquema TDMA	28
FIGURA 9 - Estrutura de quadro TDMA.....	29
FIGURA 10 - Transmissão CSMA/CA.....	30
FIGURA 11 - Colisões em CSMA/CA.....	31
FIGURA 12 - As sete camadas do modelo OSI	32
FIGURA 13 - Modelo de conexão TDMA.	35
FIGURA 14 - Estações de comunicação moveis.....	36
FIGURA 15 - Modelo de distribuição do sinal das antenas.	37
FIGURA 16 - Bullet M2.....	38
FIGURA 17 - Maleta com sistema embarcado.	39
FIGURA 18 -Interface do software Putty	40
FIGURA 19 - Mapa nível do sinal.....	42
FIGURA 20 - Mapa de ruído do sinal	43

FIGURA 21 - AirView Ubiquiti.....	44
FIGURA 22 - Distribuição dos roteadores 2.4Ghz.....	45
FIGURA 23 - Enlace entre as estações de comunicação	46
FIGURA 24 - Distribuição das estações de comunicação após a alterações.....	47
FIGURA 25 - Canais 2,4GHz	48
FIGURA 26 - Sinal Frente 1	49
FIGURA 27 - Modificações de antenas Frente 2.....	51
FIGURA 28 - Frente 2	51
FIGURA 29 - Alterações de localização e enlace das estações de comunicação.....	52
FIGURA 30 - Mudança dos canais 2,4GHz.....	53
FIGURA 31 - Mapa de nível de sinal após modificações	53
FIGURA 32 - Comparação do nível do sinal frente 1	54
FIGURA 33 - Comparação do nível de sinal da frente 2	55
FIGURA 34 - Sobreposição do sinal do <i>Site Survey</i>	56
FIGURA 35 - AirView Ubiquiti depois das mudanças.....	57
FIGURA 36 - Nível de Ruído comparação	58

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ROM	Read-Only Memory
RAM	Read Access Memory
GPRS	General Packet Radio Services
Wi-Fi	Wireless Fidelity
ISM	Industrial, Scientific and Medical
ANATEL	Agencia Nacional de Telecomunicações
SNR	Signal-To-Noise Ratio
FDD	Frequency Division Duplex
TDD	Time Division Duplex
FDMA	Frequency Division Multiple Access
TDMA	Time Division Multiple Access
CDMA	Code Division Multiple Access
SDMA	Space Division Multiple Access
CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance
RTS	Request to Send
CTS	Clear to Send
ACK	Acknowledgement
MAC	Media Access Control
PTMP	Point-to-Multipoint
POE	Power Over Ethernet
SSH	Secure Shell

Sumário

1	INTRODUÇÃO	11
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
2.1	Mineração.....	14
2.1.1	MINA A CÉU ABERTO.....	15
2.1.2	PLANEJAMENTO OPERACIONAL DA MINA.....	16
2.1.3	ALOCAÇÃO DE EQUIPAMENTOS.....	17
2.2	Sistemas Embarcados	17
2.2.1	SISTEMAS EMBARCADOS NA MINERAÇÃO	20
2.3	Redes sem fio	22
2.3.1	RADIOFREQUÊNCIA.....	22
2.3.2	TRANSMISSÃO DE DADOS.....	24
2.3.3	TÉCNICAS DE ACESSO MÚLTIPLO.....	25
2.3.4	MODELO DE REFERÊNCIA OSI.....	31
3	METODOLOGIA	34
3.1	Características da rede	34
3.2	Obtenção dos dados de rede	38
3.3	Análise dos dados de rede	41
3.4	Alterações realizadas	45
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	49
4.1	Resultados por nível de sinal	49
4.2	Resultados por nível de ruído.....	56
5	CONCLUSÃO	59
	REFERÊNCIAS.....	61

1 INTRODUÇÃO

A criação de novas técnicas com o intuito de aumentar a produtividade de uma empresa existe desde a primeira revolução industrial. Porém a partir da terceira revolução industrial com o crescimento da eletrônica, informática e o aprimoramento das telecomunicações houve um aumento exponencial do uso da tecnologia na indústria geral. Esse aumento se estendeu ao cidadão comum, e os eletrodomésticos deixaram de ser apenas rádio e televisão, para todo o tipo de produto que facilite ou simplifique tarefas. Se nas residências iniciou-se a inserção de máquinas para facilitar a execução de pequenas tarefas rotineiras antes feitas manualmente, com o intuito apenas de poupar tempo, na indústria esse poupar tempo gera uma produção maior. E com a necessidade de ser competitiva, toda empresa quer produzir o máximo e minimizar os custos, assim automatizando todo o processo que fosse possível.

De acordo com Brettel *et al.* (2014) a quarta revolução industrial foi desencadeada pela comunicação feita por meio ciber-físicos que integraram sistemas em um ambiente produtivo comum. Inicialmente as tarefas automatizadas geralmente envolviam tarefas consideradas repetitivas ou simples, porém a complexidade das tarefas foi aumentando ao ponto que a substituição do homem pela máquina está acontecendo em setores antes não explorados, como na extração mineral.

A automatização na extração de minério, que era vista como impraticável, hoje já se torna realidade. Na mina Brucutu, da empresa Vale, em Minas Gerais, veículos autônomos realizam o trajeto sem motorista. Isso diminui o custo operacional a longo prazo, já que a estimativa da Vale era diminuir em 10% o gasto com combustível e os custos de manutenção, além de estender a vida útil dos caminhões (VALE, 2018). Mas para que tudo ocorra perfeitamente, são necessários vários sensores de proximidade instalados nos caminhões, além de um sistema de comunicação em perfeitas condições, já que as rotas são informadas pela base de controle.

Em tecnologias aplicadas no âmbito da mineração relacionadas a sistemas embarcados em caminhões ou equipamentos de carga, é necessário o acesso à uma rede sem fio para realizar a transferência de dados. A rede de rádio frequência não fornece o tráfego de dados suficiente para realizar a comunicação em tempo real, e em grande parte dos casos as redes moveis utilizadas por celulares não cobrem a área da mina, devido ao fato de ficarem em lugares remotos muitas das vezes. Assim

surge a necessidade de criar uma estrutura de rede dedicada à essa transferência de dados, porém, as soluções existentes em telecomunicações móveis foram criadas para atender outras demandas diferentes às que são necessárias em uma mina a céu aberto.

Muitas das dificuldades relacionadas à comunicação sem fio em minas estão atreladas ao quão dinâmica uma mina é, criando vários pontos cegos onde não há cobertura de rede. Aliado à isso existem particularidades da mina, como a criação de pilhas de material estéril, alterações constantes na topografia, e mudança de local de trabalho para regiões remotas. Isso torna bastante desafiador a criação de uma rede robusta e estável que tolere o tráfego de dados. Além disso, diferente de redes convencionais, a demanda de *upload* é muito maior que a de *download*, portanto a confiabilidade na rede é de suma importância, já que as tomadas de decisões são feitas com base nas informações obtidas de campo. O atraso dos dados pode acarretar perda de produção.

A estrutura de comunicação também precisa apresentar características dinâmicas para atender a demanda, para isso são utilizadas estações de comunicação móvel, que são estações móveis autônomas, sem necessidade de estar conectadas a rede de energia elétrica, e com capacidade de locomoção. Apesar de oferecer facilidades, ainda se faz necessário a conexão das estações móveis com pontos fixos da rede, para que as informações cheguem ao servidor. Isso acrescenta no mínimo um salto a mais na conexão, já que os roteadores dos caminhões e outros equipamentos da mina, ao invés de mandar os dados diretamente para o ponto fixo, mandam para as estações móveis primeiro, gerando uma rota maior para que os dados cheguem ao servidor.

O principal objetivo do trabalho é realizar a análise da cobertura da rede sem fio em uma mina, e propor e efetivar as melhorias com o intuito de otimizar o nível da rede. Para que se fizesse possível alcançar o objetivo, o trabalho foi dividido entre o referencial teórico, a metodologia, os resultados e a conclusão. No referencial teórico são abordados os conceitos de mineração, sistemas embarcados e redes sem fio. Na metodologia são descritos os materiais utilizados no trabalho, as características da rede pesquisada, como foi feito o levantamento e análise dos dados recolhidos, assim como as alterações feitas. Os resultados e discussões apresentam as consequências

das alterações realizadas, bem como sua análise. A conclusão apresenta as considerações com base nos resultados obtidos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção serão abordados os conceitos do projeto, com intuito de situar o leitor sobre os principais tópicos do trabalho. A seção 2.1 traz uma breve conceitualização da área da mineração e a importância da tecnologia no planejamento, a fim de ter uma mina de alto rendimento. Na seção 2.2 é levantada a importância e as funcionalidades dos sistemas embarcados no atual cenário de extração mineral, assim como os sistemas de despacho para gerenciamento da frota. Por fim, a seção 2.3 mostra os aspectos gerais do tráfego de informação sem fio no ambiente da mineração, quais tipos de comunicação são utilizadas e os principais problemas envolvendo a cobertura da lavra.

2.1 Mineração

Para Amaral e Lima (2019), a mineração é a extração de minerais de natureza sólida, líquida ou gasosa existentes nas rochas ou no solo e incorpora todas as atividades complementares ao beneficiamento do minério, com o objetivo de comercialização da matéria extraída. Desde os primórdios o homem exerce atividades envolvendo a mineração, como a retirada de argila de locais apropriados para criação de artefatos em cerâmica, e as rochas duras para preparação de objetos de corte. A partir da Idade do Bronze começou um desenvolvimento tímido da pesquisa mineral e o beneficiamento dos minérios para a metalurgia.

Após realização de escavações e amostragens de um depósito mineral, se aquele volume pesquisado se nota economicamente viável para extração denomina-se ele de jazida, e assim que as extrações para aproveitamento comercial se iniciam, ela se transforma em mina, podendo ser a céu aberto ou subterrânea. Com o levantamento de dados realizado na jazida se tem o volume e onde estão os corpos de minério, que é parte do depósito com aproveitamento comercial. A lavra é todo conjunto de operações de aproveitamento da jazida, ela deve definir todos os ciclos de trabalho e sequência em função do tempo para viabilizar o melhor aproveitamento possível da mina. Os métodos de lavra utilizados para extração estão conectados diretamente à configuração geométrica da jazida e também à sequência de avanço para obter os volumes de minério requeridos. Também é necessário avaliar os tipos

de equipamentos durante a extração do minério. O Ideal será o método que apresentará uma lavra mais econômica durante o período de extração (CURI, 2017).

2.1.1 MINA A CÉU ABERTO

Grande parte da extração mineral mundial se dá pelo método de lavra a céu aberto, cerca de três em quatro minas utilizam esse método. A discrepância se dá pela dificuldade em tornar uma mina subterrânea economicamente viável, devido ao seu alto custo operacional agregado às condições insalubres do ambiente. Em contraponto, a extração superficial vem apresentando crescente nível de eficiência com o uso de novas tecnologias voltadas à mineração, compensando até o gasto de recuperação ambiental após fim da vida útil da lavra (ADONES, 2019). A figura 1 exemplifica a exploração em minas a céu aberto.

FIGURA 1 - Mina de fosfato da Mosaic Fertilizantes em Tapira – MG



Fonte : Ângelo (2019)

Os principais métodos de lavra a céu aberto são os de: (i) exploração à seco, conhecido como lavra por bancadas; (ii) lavra por tiras e; (iii) lavra de pedreira. O método por bancadas é mais utilizado quando o minério está coberto por um

capeamento. As bancadas são exploradas de cima para baixo até atingir as camadas do corpo do minério, onde ele é recuperado e o material estéril (porção não aproveitável da jazida) é removido e realocado em depósitos. Os depósitos podem ser feitos dentro da própria cava ou nas proximidades, desde que não sejam feitos sobre futuros pontos de interesse, a fim de evitar retrabalho e aumentando o custo de operação (CURI, 2017).

2.1.2 PLANEJAMENTO OPERACIONAL DA MINA

Na extração do minério existem diversas frentes de exploração, seja em céu aberto ou subterrânea. As diferentes características químicas, como as características físicas, as faixas granulométricas, o teor dos parâmetros da qualidade, as características econômicas do produto e o custo de operação de lavra, alternam de acordo com os tipos de materiais do depósito. A venda do minério inevitavelmente se dá por uma determinada especificação de teor e qualidade do material e dificilmente o material de apenas uma frente de serviço será o suficiente para adequação, portanto é necessário a mistura de materiais de frentes diferentes para atingir o produto final requerido pelo cliente. O quanto de material em cada frente com teores diferentes serão misturados é chamado de problema de mistura de minérios e a solução define o ritmo de lavra de cada frente. O ritmo é importante para que haja melhor aproveitamento da cava, assim prologando o ciclo de vida da mina. Para que não sobre algumas frentes com teores menores do que o estabelecido, é feita a mescla com as de maior concentração do minério. (COSTA, 2005).

O planejamento e controle da operação é feito através do plano de lavra, que consiste em uma programação dos avanços das frentes ao longo do ciclo de extração. Através do plano de lavra, que tem como finalidade programar avanços ao longo da vida útil da mina em conjunto com informações de alocações, monitoramento e controle da operação, é possível obter informações referentes a cada equipamento de carga, como produção horária, alocação, previsões das quantidades lavradas de estéril e minério. No escopo do planejamento devem ser considerados alguns outros critérios, como controle de custos, segurança operacional e manutenção da vida útil da mina (AMARAL, 2008).

2.1.3 ALOCAÇÃO DE EQUIPAMENTOS

Após passar pela análise do planejamento e com os volumes de retirada definidos em cada frente da lavra, surge outra demanda, a definição estratégica de alocação dos caminhões e como será feito o transporte das pilhas de estéril e do minério. Cada empresa possui uma frota de caminhões que se encaixa no perfil que a lavra requiere, assim ditando o ritmo da extração conforme a capacidade de operação da frota. Na mina a céu aberto existem dois critérios de alocação de caminhões: estático e dinâmico (ARAÚJO, 2008).

Para minas menores normalmente é utilizado a alocação estática de caminhões, que é uma solução mais simples e barata, na qual os caminhões realizam rotas fixas com um equipamento de carga e os locais de destino são os mesmos. Nesse caso para evitar perdas de produtividade é necessário a compatibilidade das capacidades operacionais das pás e das caçambas. Na alocação dinâmica são utilizados sistemas embarcados com softwares específicos que, a cada viagem do equipamento de transporte, determinam os melhores pontos de carregamento e basculamento, com o intuito de minimizar as filas de espera (COSTA, 2005).

Como a alocação dinâmica requer um sistema de despacho para equipamentos de transporte, os termos “alocação dinâmica” e “despacho” podem ser tomados como equivalentes. Assim, quando se cita alocações dinâmicas de frentes de lavras, logo podemos dizer sistema de despacho (PINTO, 2007).

2.2 Sistemas Embarcados

Geralmente se relaciona o termo “computadores” aos computadores de uso pessoal que realizam diversas tarefas, desde o trabalho até o lazer. Normalmente são máquinas com processadores potentes e muito espaço de armazenamento. Porém um dispositivo que realiza tarefas mais simples também pode ser considerado um computador, já que possui os mesmos componentes, mas de forma mais modesta. Tais aparelhos, que normalmente são limitados à tarefas específicas, são chamados de sistemas embarcados, e estão presentes em diversos níveis de complexidade e aplicações (MONQUEIRO, 2007).

Um sistema embarcado, assim como um computador, conta com sistema de processamento e memória, mas seu hardware e software são projetados para aplicações específicas, não para uso geral como um computador pessoal (BARR; MASSA, 2006). Para Patterson e Hennessy (2013) é um projeto eletrônico, que tem como principal função executar uma tarefa especificada, ou um conjunto de aplicações que giram em torno de um único sistema, nisso é embutido um programa em um microcontrolador, a fim de interagir com o ambiente externo.

Sistemas embarcados são compostos primariamente por uma única unidade de processamento, na qual o circuito impresso gira em torno das funcionalidades advindas dessa unidade. A unidade de processamento realiza a leitura do software, interpreta os comandos e realiza o processamento do *firmware*. Existem muitas aplicações quando se trata de sistemas embarcados. Conforme Chase (2007), alguns exemplos são:

- Uso geral, que consiste em aplicações mais semelhantes às de um computador pessoal, com maior interação com o usuário.
- Setor automobilístico, com aplicação em todos os carros, desde o mais modesto aos com tecnologia de ponta. Utiliza-se sistemas embarcados para realizar leitura em tempo real de temperatura, sistema de freio, funcionamento do motor, entre outros. Essas informações vão para uma central, a comunicação dos dados é feito através de protocolo CAN¹.
- Aquisição de dados em sistemas de controle, utilizando-se de vários tipos de sensores para monitorar variáveis do ambiente. Os sistemas embarcados gravam esses dados em uma memória para análises ou atuação direta em sistemas mais robustos em malha fechada, com hardware dedicado e pouca interação com o usuário.
- Comunicação entre redes, roteadores e switches com microcontroladores, utilizado por empresas de telecomunicações em geral.

As unidades de processamento normalmente utilizadas são microcontroladores ou microprocessadores que apresentam algumas similaridades, mas com algumas

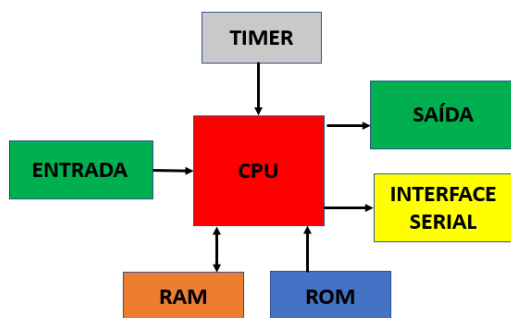
¹ Rede CAN é um protocolo de comunicações serial, muito utilizado em sistemas automotivos para o sincronismo de informações embarcadas (Frohlichm 2008)

diferenças entre eles. O conhecimento das características específicas de cada dispositivo é fator determinante na construção do circuito embarcado, e uma das principais diferenças entre os dois dispositivos é como a informação é armazenada. Como exemplo, os microprocessadores não possuem nenhuma memória integrada, logo, na concepção do projeto as memórias ROM (*Read-only memory*) ou memória somente de leitura, e RAM (*Random access memory*) ou memória de acesso randômico), têm que ser inseridas no circuito integrado ao microprocessador. Assim como as memórias, as portas de interface digitais e analógicas têm de ser acrescentadas ao circuito, a fim de auxiliar as funcionalidades do microprocessador. Portanto, a atribuição do microprocessador fica mais focada nos cálculos lógicos.

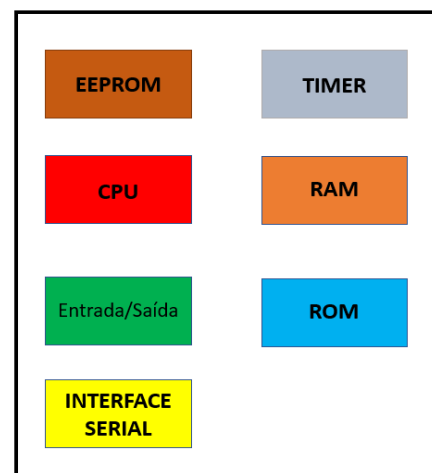
Já o microcontrolador é considerado um computador, por possuir memória, processador e conversor de portas lógicas integradas dentro do seu sistema. No microcontrolador também é possível realizar a leitura do *firmware* e regravar algum programa dentro dele, caso haja a necessidade. Apesar das vantagens aparentes diante dos microprocessadores, os microcontroladores perdem na capacidade de processamento de informações, então é possível constatar que a utilização de cada um depende da finalidade do projeto (WUNDERLICH, 1999). A figura 2 apresenta as principais diferenças entre os dois.

FIGURA 2 - Diferenças entre Microprocessador e Microcontrolador.

Microprocessador: CPU e vários chips de suporte



Microcontrolador: CPU em único chip



Fonte : Adaptado de Thornton (2017)

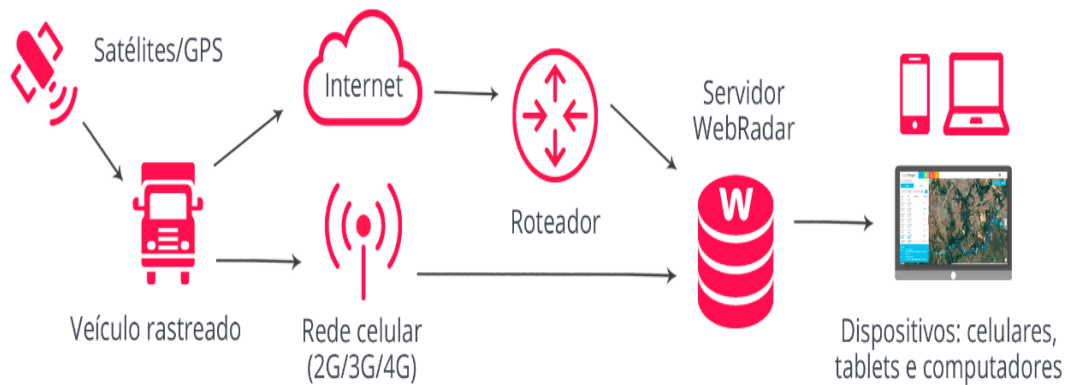
Os sistemas embarcados geralmente estão se comunicando com outros sistemas embarcados e outros equipamentos, no setor de automóveis é comum a utilização de sistemas embarcados para a coleta de informações e envio, de forma remota, para uma base de dados. Esse tipo de tecnologia tem crescido bastante no ramo da mineração.

2.2.1 SISTEMAS EMBARCADOS NA MINERAÇÃO

A mineração vem apresentando avanços tecnológicos com a utilização de sistemas embarcados nos equipamentos móveis, neles é feita a coleta de informações em tempo real. Para essa coleta de dados, são muito utilizados sistemas de telemetria (palavra de origem grega que é a junção de duas palavras: *tele*, que significa remoto, e *metron*, que é medir), que se trata de um equipamento com capacidade de realizar leituras e transmitir dados remotamente. Em ambiente de mineração, as informações coletadas geralmente são de lugares de difícil acesso e onde não seria possível ter uma rede cabeada, por isso os sistemas de telemetria comunicam através de redes sem fio, utilizando rádio frequência, GPRS(Serviços Gerais de Pacote por Rádio), entre outras (MATTOS, 2004).

A utilização de sistema de telemetria se iniciou no ano de 1845 e, desde então, é aplicada desde a medicina até mísseis teleguiados, mas é amplamente difundida no setor automotivo. Nos veículos presentes na mineração, sistemas de telemetria são utilizados para aquisição de dados diversos como consumo de combustível, localização geográfica, distância média percorrida, identificação do motorista, pressão nos pneus e temperatura do motor. Algumas dessas informações geralmente são disponibilizadas pelo sistema CAN do automóvel e, quando não são, é necessária a instalação de módulos paralelos. Esses dados podem ser transferidos para servidores remotos através de redes sem fio, tanto por redes disponíveis comercialmente como pela montagem de uma estrutura de comunicação fechada. Essa rede é necessária para que os dados cheguem ao usuário final em tempo real e, assim, possa ser feita a análise dos dados para uma eventual tomada de decisão de forma remota (TEIXEIRA; OLIVEIRA; HELENO, 2013). A figura 3 exemplifica o fluxo de informação obtido pelo sistema de telemetria.

FIGURA 3 - Fluxo de informação obtido pela telemetria.



Fonte : Webradar (2019)

Para Cota *et al.* (2017), a operação de uma mina envolve muitos riscos, por envolver um grande volume de massa deslocada e ser um trabalho repetitivo. Além disso, todo o processo de extração mineral é bastante custoso, justificando o investimento realizado em novas tecnologias. Existem muitas oportunidades para utilização de sistemas embarcados de telemetria nos equipamentos. Embora seja usada em caminhões manualmente operados, a telemetria é também necessária na operação autônoma, onde o caminhão não precisaria de um operador. Essa operação autônoma ainda apresenta algumas falhas e um valor alto de investimento, apesar de ser tido como o futuro das operações de mina.

Enquanto a operação autônoma não é realidade, existem formas híbridas de automatização que já estão sendo testadas em atividades que envolvem grande risco operacional. Como exemplo há o desmonte de rocha com utilização de rompedores, que são equipamentos utilizados na fragmentação de pedaços maiores de rocha que sobram após as detonações, assim evitando um segundo desmonte no local. Os rompedores são operados através de teleoperação, onde o operador opera a máquina remotamente. Para isso são utilizadas câmeras em pontos que necessitam visualização do operador, e para o manuseio do equipamento são utilizados *joysticks* (COTA *et al.*, 2017)

2.3 Redes sem fio

As redes *wireless* (ou sem fio), nas últimas décadas, têm visto seu uso aumentar exponencialmente devido a ser um meio de comunicação bastante flexível e ser utilizada como uma extensão das redes cabeadas. Por combinar a conectividade com a flexibilidade, tem sido a principal alternativa para uso doméstico e uma opção extremamente viável para as empresas, também por não depender de uma estrutura física, diminuindo os custos da instalação e apresentando uma escalabilidade maior.

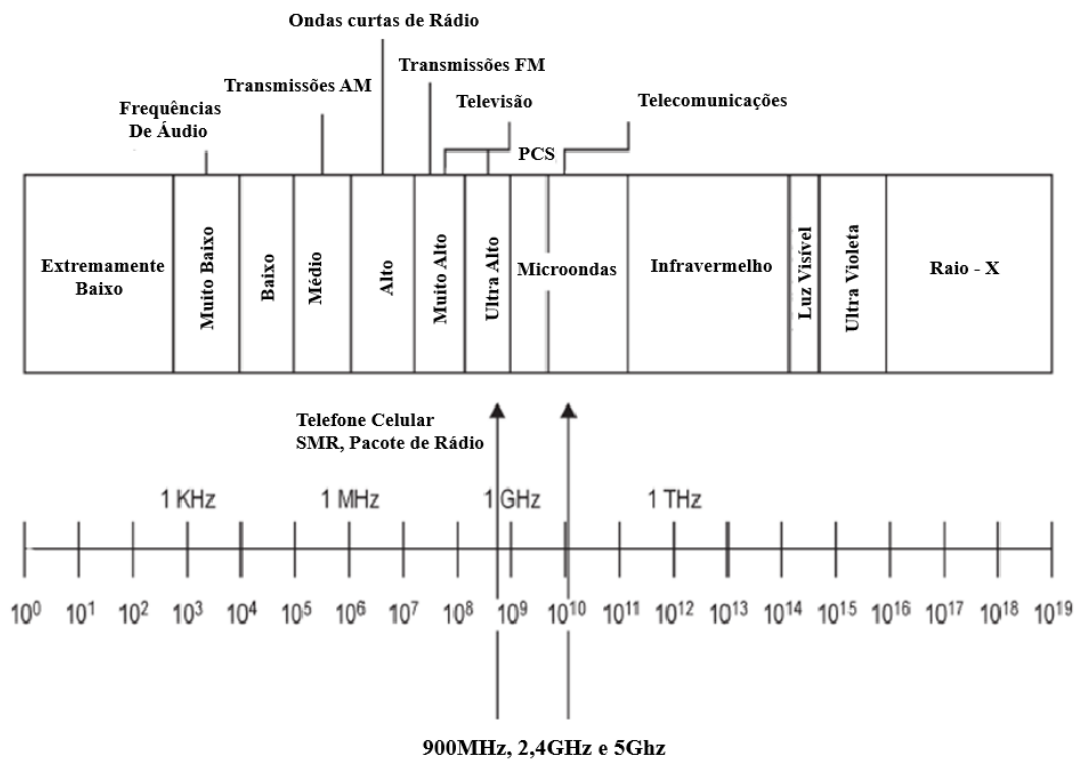
Com os avanços da tecnologia dos dispositivos de radiofrequência, eles se tornam cada vez mais acessíveis e confiáveis, além disso há uma crescente dependência de alguns equipamentos que permitem a conexão apenas via rede sem fio, como smartphones e notebooks atuais. Os meios de comunicação sem fio são baseados em infravermelho, em laser e, o mais comum, baseado em radiofrequência. A radiofrequência engloba os padrões *Bluetooth* e *Wi-fi (Wireless Fidelity)* (MORAES, 2010). Este último será o foco maior deste trabalho.

2.3.1 RADIOFREQUÊNCIA

Os sistemas de radiofrequência pode-se utilizar de alguns meios físicos, entre eles o principal o ar, onde o sinal é transmitido por ondas de rádio. A faixa de frequências utilizadas para realizar a transferência de informações é a ISM (Industrial, Científica e Médica), e a maior parte do espectro eletromagnético é mantido sob controle da legislação, porém existem faixas que não necessitam de autorização para uso. O ISM é padronizado em três faixas de frequências: 900MHz, 2,4GHz e 5GHz, ilustrados na figura 4, cada uma com suas delimitações, dependendo do país em que se deseja transmitir (TANENBAUM, 2003).

As faixas mais utilizadas são as de 900MHz que é uma faixa completamente livre, e isso acaba gerando um grande nível de interferência nessa faixa de comunicação. Aparelhos eletrodomésticos utilizam essa faixa, como o aparelho de micro-ondas, controles remotos, entre outros. Porém, ela não apresenta um bom nível de taxa de transmissão. Quanto maior a frequência, maior é o consumo de energia e menor o alcance, mas é possível maior taxa de transmissão de dados (MORAES, 2010).

FIGURA 4 - Espectro de Frequência ISM

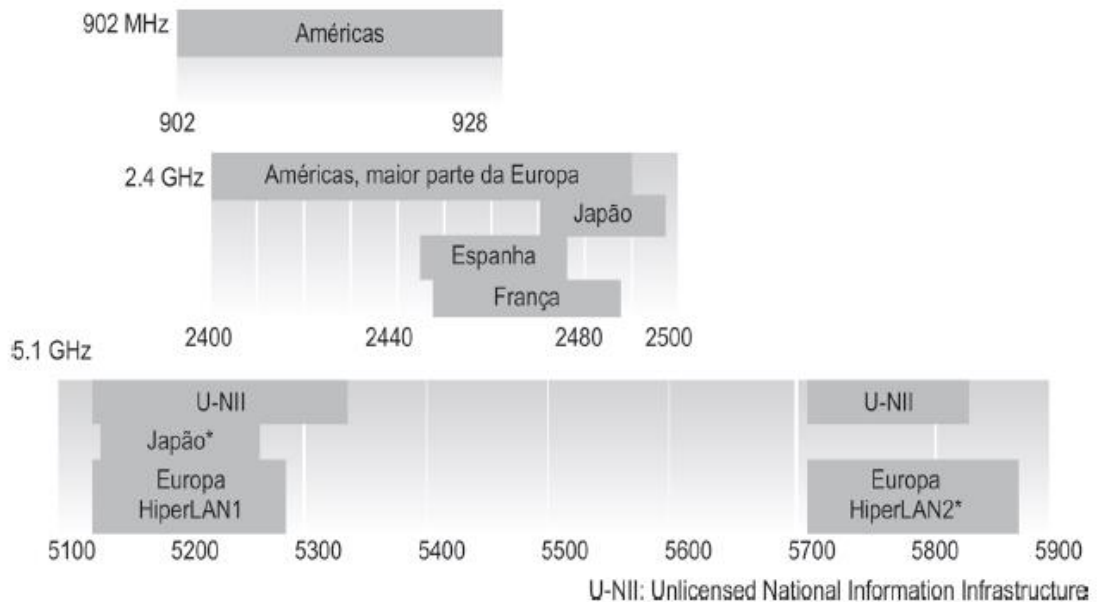


Fonte : Adaptado de Tanebaum (2003)

As redes sem fio utilizam as faixas de 2,4GHz e 5GHz como meio de transporte. A figura 5 ilustra quais são as delimitações de uso das faixa de frequência por país, cada país é responsável por delimitar qual será a faixa não licenciada, sendo essa faixa aberta para o uso de todos sem autorização do órgão responsável pela regulamentação. As faixas de frequências que são licenciadas são as que o governo tem o direito de uso, e geralmente a organização governamental responsável pelo controle das faixas licenciadas abre concessões, onde empresas podem fazer propostas para ter o direito do uso de uma faixa de frequência por um determinado período de tempo. No Brasil, por exemplo, a Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) disponibiliza livremente a faixa de frequências de 2400MHz à 2483MHz, que engloba 11 canais distintos de 20MHz cada (MORAES, 2010). Os canais são onde os dados são transportados de um transmissor até o receptor, percorrendo uma certa distância. Embora essa definição seja mais utilizada para transmissão sem fio,

o termo também pode ser utilizado para meios físicos, como o uso de transmissão por eletricidade (LATHI; DING, 2009).

FIGURA 5 - Faixa de frequência de uso ISM nos países



Fonte : Moraes (2010)

2.3.2 TRANSMISSÃO DE DADOS

Quando se pensa em elaborar um projeto de sistema de comunicação, é essencial levar em consideração os fatores que interferem diretamente na rede sem fio, como características do sinal e do canal escolhido, amplitude relativa do ruído, número máximo de bits que podem ser transmitidos por um canal e a qualidade do sinal. Os principais parâmetros que delimitam as taxas de transmissões e qualidade do canal são a largura de banda e a potência de sinal. Para que um canal atinja uma taxa de transferência confiável, é necessário que a largura de banda do canal seja maior do que a do sinal. Por exemplo sinais ricos em conteúdo tem uma rápida oscilação de sinal, conseqüentemente a frequência se torna maior, assim como a largura de banda. A potência do sinal tem dois papéis importantes na transmissão de dados, primeiramente ela está relacionada à qualidade do sinal, já que com o aumento da potência de sinal ela reforça o pulso, assim aumentando a relação sinal-ruído

(SNR). Portanto maior potência do sinal permite que a transmissão tenha uma SNR maior ao longo da distância percorrida, proporcionando na comunicação mais qualidade e alcance maior. Outro papel importante da potência de sinal é sua relação com a largura de banda, potência de sinal menor pode prover maior largura de banda e vice e versa (LATHI; DING, 2009).

A largura de banda do canal limita a frequência que pode ser utilizada com sucesso na transmissão, enquanto a relação sinal-ruído no receptor determina com qual qualidade a informação está chegando. Quanto maior a SNR maior o nível de sinais que podem ser transmitidos já que com um menor relação de ruído a integridade da amplitude do sinal é mantida (LATHI; DING, 2009).

Outro fator de suma importância na comunicação sem fio, é a escolha do modelo da antena, que tem como função distribuir e receber o sinal pelo meio de propagação. Elas podem ser internas ou externas, dos tipos omnidirecionais que irradiam o sinal em todas as direções, ou direcionais que focalizam em um ângulo menor a propagação (MORAES, 2010). Um dos principais métodos de descrever a performance de uma antena é o seu ganho, que é a razão de uma intensidade de radiação em uma determinada direção, e a intensidade da radiação recebida por um receptor em todas as direções. Isso é o ganho da antena interfere diretamente na performance da rede sem fio, onde quanto maior for o ganho da antena maior será seu alcance de conexão (BALANIS, 2016).

2.3.3 TÉCNICAS DE ACESSO MÚLTIPLO

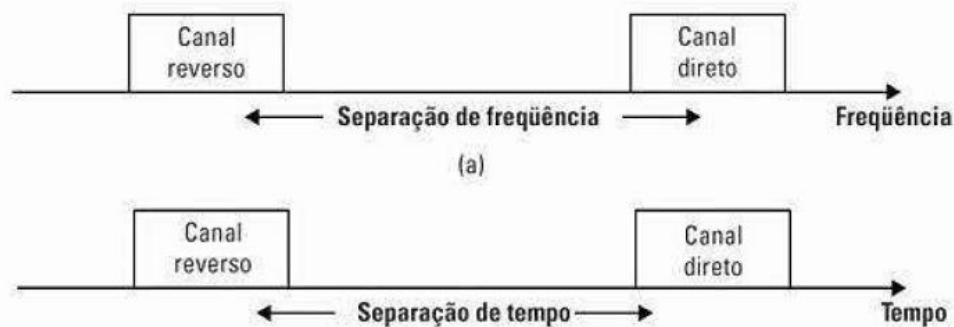
Em sistemas de comunicação sem fio é intrínseco que as informações sejam compartilhadas em tempo real, isso é, receber os dados ao mesmo tempo que são enviados. Esse compartilhamento em tempo real pode ser exemplificado com uma ligação telefônica, em que é possível falar e ouvir simultaneamente.

Para que as informações sejam transmitidas e recebidas ao mesmo tempo, é usada técnica de duplexação. A duplexação pode ser feita de diferentes formas, principalmente quando existe mais de uma conexão envolvida para um único receptor. Uma dessas formas é a Duplexação por Divisão de Frequências (FDD), que utiliza frequências diferentes para evitar conflito de duas estações que tentam se comunicar ao mesmo tempo. A FDD oferece duas bandas distintas para cada usuário conectado,

que é a banda direta onde as informações são transferidas da estação-base para uma estação-móvel, por exemplo, e a banda reversa que faz o caminho inverso, portanto todo canal duplex (nome dado ao canal com comunicação bidirecional) consiste na realidade em dois canais simplex (nome dado ao canal com comunicação unidirecional) (RAPPAPORT, 2008).

Outro modo de realizar a comunicação é a Duplexação por Divisão de Tempo (TDD), que utiliza o tempo ao invés de frequências diferentes para fornecer a duplexação à um enlace. Nesse modelo, para cada dispositivo conectado, é estabelecido um intervalo de tempo para a comunicação direta e para a reversa, permitindo a comunicação bidirecional. As técnicas FDD e TDD de multiplexação são mostradas na figura 6 (RAPPAPORT, 2008).

FIGURA 6 - FDD e TDD



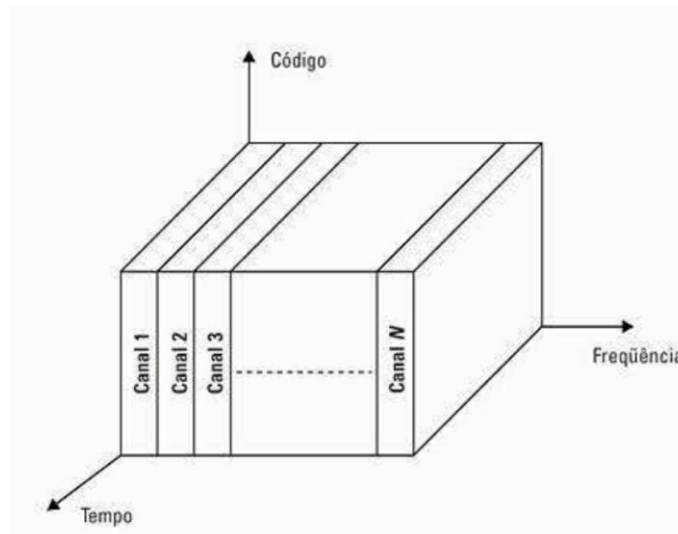
Fonte : RAPPAPORT (2008)

As técnicas mais utilizadas na comunicação sem fio são o Acesso Múltiplo por Divisão de Frequência (FDMA), Acesso Múltiplo por Divisão de Tempo (TDMA), Acesso Múltiplo por Divisão de Código (CDMA), Acesso Múltiplo por Divisão de Espaço (SDMA) e Acesso Múltiplo com Verificação de Portadora com Prevenção de Colisão (CSMA/CA) (HAYKIN; MOHER, 2008). O termo acesso múltiplo é usado quando a técnica de Duplexação não se limita à dois transmissores, podendo ser aplicados por múltiplos transmissores. Análogo à duplexação, o termo usado para múltiplo acesso é multiplexação. Neste trabalho o foco será nas tecnologias de multiplexação FDMA, TDMA e CSMA/CA que são mais utilizadas para transmissão sem fio *Wi-Fi*.

2.3.3.1 FDMA

O Acesso Múltiplo por Divisão de Frequência é uma técnica derivada do FDD, na qual o espectro de frequência é dividido em um certo número de canais, dependendo do número de transmissores. É de suma importância que os transmissores conectados trabalhem na frequência delimitada, a fim de evitar qualquer tipo de ruído na comunicação. Esse tipo de acesso múltiplo requer um *hardware* mais complexo, visto que ambos as partes do enlace precisam do duplexador, mas na parte de equalização é mais simples de configurar, visto que a própria estação base delimita a frequência em que cada um conectado. Por se tratarem de canais menores que foram divididos, estes se tornam menos vulneráveis a interferência externa (HAYKIN; MOHER, 2008). A figura 7 ilustra o FDMA no domínio da frequência.

FIGURA 7 - Esquema FDMA



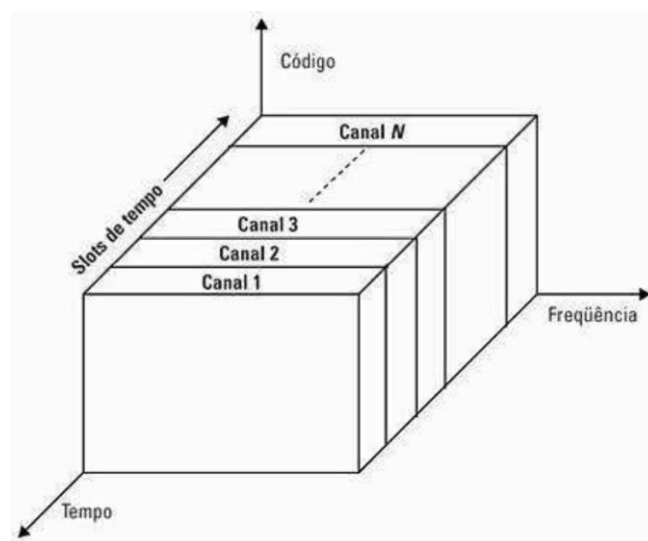
Fonte : RAPPAPORT (2008)

A técnica FDMA teve sua aplicação em larga escala difundida por sua simplicidade conceitual, com o avanço das tecnologias de modulação de frequência era uma opção totalmente viável nos primeiros sistemas sem fio. Contudo sua limitação, onde o transmissor e o receptor precisam de um duplexador, encarece o produto, o que aumentou a necessidade de outros métodos de acesso múltiplo (HAYKIN; MOHER, 2008).

2.3.3.2 TDMA

O Acesso Múltiplo por Divisão de Tempo divide o espectro de rádio em intervalos de tempo em que cada intervalo é dedicado à um transmissor diferente. Sendo assim cada transmissor tem seu determinado intervalo de tempo para enviar ou receber os dados. Diferentemente do método FDMA, o TDMA utiliza toda a banda do canal para realizar a transferência das informações armazenadas no seu período ocioso. A figura 8 lustra o esquema cíclico do TDMA. Por ter tempos separados de envio de informação e para recepção, nesse método não se torna necessário que os aparelhos tenham o duplexador, portanto, tendo um custo menor de fabricação. O acesso múltiplo por divisão de tempo por ser uma técnica onde as informações são demandadas em um período de tempo restrito, ele utiliza toda a largura do canal. Com isso, gera a necessidade de realizar uma equalização para evitar interferências externas (RAPPAPORT, 2008).

FIGURA 8 - Esquema TDMA

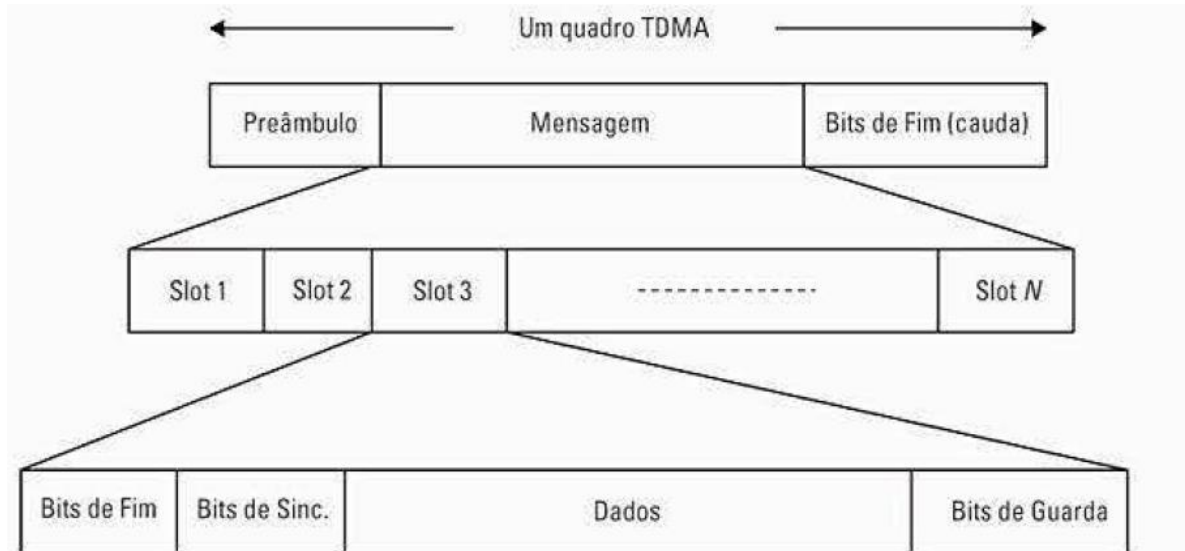


Fonte : RAPPAPORT (2008)

A transmissão de dados em TDMA é feita dividindo os pacotes de dados (chamados de quadros) cíclicos, que são constituídos de um preâmbulo, a mensagem e os bits de fim. O preâmbulo contém informações de sincronismo e as informações para que estações conectadas se identifiquem. A mensagem é dividida em porções (*slots*) que contém as informações das estações conectadas. A estrutura de cada *slot*

da mensagem é dividida em *bits* de fim, *bits* de sincronismo, dados e os *bits* de guarda, que são utilizados para permitir a sincronização dos receptores entre diferentes *slots* e quadros (RAPPAPORT, 2008). A figura 9 ilustra os quadros em TDMA.

FIGURA 9 - Estrutura de quadro TDMA



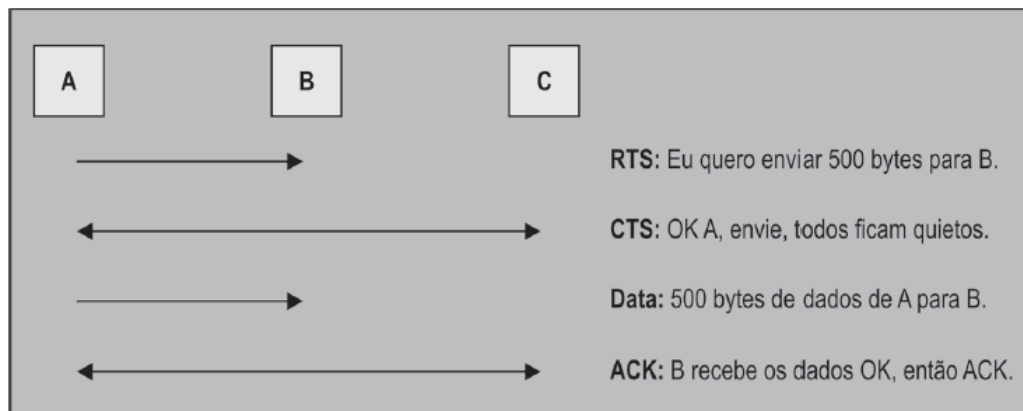
Fonte : RAPPAPORT (2008)

O método de TDMA apresenta algumas vantagens ao seu antecessor o FDMA entre elas, primeiramente ele não necessita de um duplexador que é um arranjo complicado e caro de ser fabricado. Na transmissão de voz, geralmente grande parte da comunicação consiste em silêncio, onde nenhuma das partes está se comunicando. Em TDMA pode se aplicar uma técnica de processamento para preencher os intervalos de silêncio, assim aumentando a eficácia do canal. No FDMA para cada estação conectada é necessário que a estação base tenha um canal para manter a seção ativa, no TDMA o mesmo canal é compartilhado entre múltiplas conexões. Por se tratar de uma tecnologia digital que consiste no avanço dos *chips*, tem se tornado bastante eficiente criando mais funcionalidades, como técnicas de codificação para implementar a confiabilidade da comunicação, e uma temporização mais sofisticada, assim tornando as aquisições e sincronismo mais rápidas (HAYKIN; MOHER, 2008).

2.3.3.3 CSMA/CA

No modelo de acesso múltiplo com verificação de portadora com prevenção de colisão, a estação que deseja transmitir envia um pedido de envio (RTS) para a estação base, que responderá com um permissão de envio (CTS) para o requerente, enquanto as outras aguardam para evitar colisão. Quando a estação que deseja transmitir recebe o CTS, ela pode transmitir pelo período de tempo que é baseado na informação enviada no RTS do tamanho do pacote. A figura 10 ilustra o processo em que a máquina A envia um RTS para B, solicitando o envio. A máquina B envia um CTS para a máquina A, e para todas as outras maquinas a ela conectadas envia uma mensagem para que fiquem ociosas durante esse tempo. Quando B recebe os dados com sucesso, ela envia um ACK (*Acknowledge*) para todos na conexão, indicando que a transmissão acabou (MORAES, 2010).

FIGURA 10 - Transmissão CSMA/CA



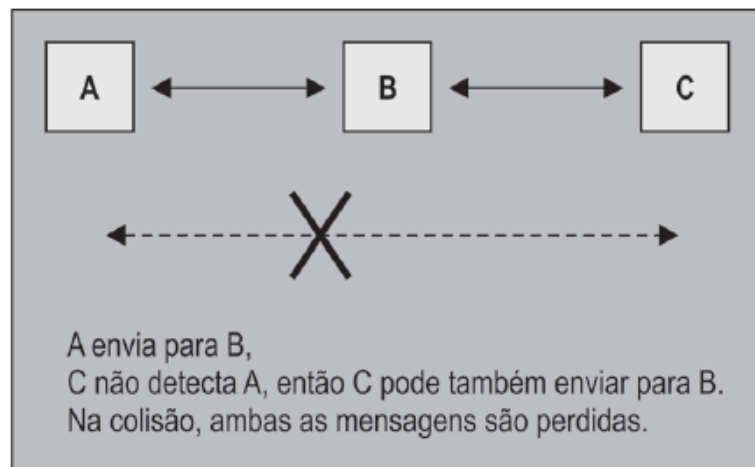
Fonte : Moraes (2010)

A mensagem de reconhecimento ACK é de suma importância, já que se a estação que estiver enviando não receber a mensagem ACK do receptor, ela refaz o envio de dados. No CSMA/CA as colisões também podem ocorrer, uma vez que quem está realizando o envio desconhece todos os nós conectados, nisso entram o atraso na detecção e o atraso de propagação. O atraso de detecção é o tempo que o canal transmissor aguarda a confirmação que o receptor está ocioso. Atraso de propagação é o tempo de envio dos dados pelo meio. Se um usuário está transmitindo os dados

enquanto outro usuário estiver pronto para realizar o envio, e ele não detecta o usuário conectado e transmitindo, ele pode entender que a estação receptora está ociosa, e assim começa a enviar os dados, causando uma colisão (RAPPAPORT, 2008).

A figura 11 demonstra uma colisão, onde a máquina A está transmitindo para a B, e a estação C não detecta a transmissão de A e também envia uma mensagem para B, assim gerando uma colisão.

FIGURA 11 - Colisões em CSMA/CA



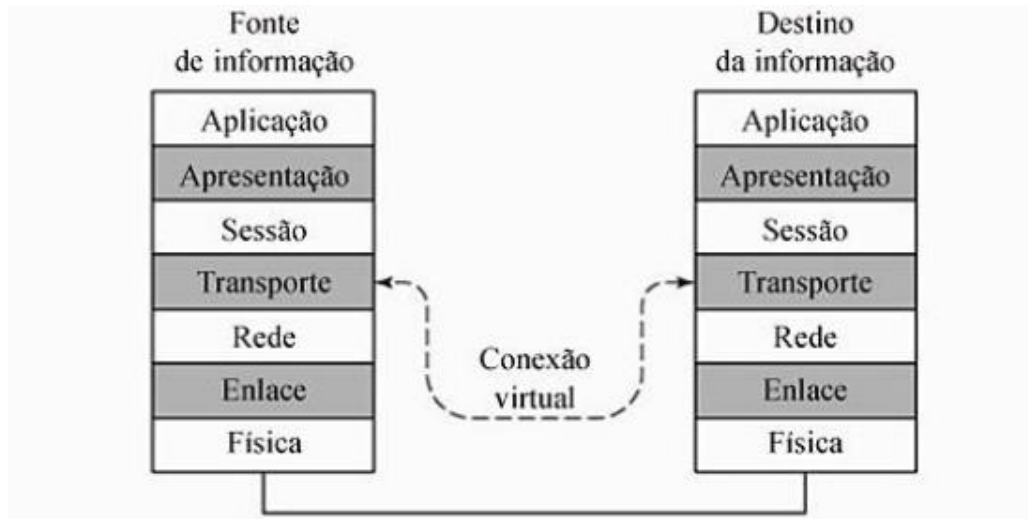
Fonte : Moraes (2010)

2.3.4 MODELO DE REFERÊNCIA OSI

O modelo de interconexão de sistemas abertos (OSI) criado pela ISO (Organização Internacional de Normalização) surgiu da necessidade de padronizar a comunicação entre sistemas a fim de criar uma interoperabilidade entre dispositivos de diferentes fabricantes, foi um modelo inicialmente desenvolvido para rede de computadores, mas tem sido utilizado em todos os moldes da comunicação. O modelo apresenta sete camadas com funções e protocolos distintos, cada uma realizando alguma função dos processos de comunicação. Apesar que a parte de rede sem fio esteja presente apenas nas três primeiras camadas, ainda assim o modelo de sete camadas ainda é um ótimo parâmetro para ilustrar como a rede entre computadores funcionam a figura 12 ilustra as camadas. As conexões podem ser realizadas em pares, assim uma informação de uma fonte que está na camada de rede só comunicará com a mesma camada do destino final da informação, em um mesmo

sistema ela se comunica imediatamente com uma camada acima ou abaixo (HAYKIN; MOHER, 2008).

FIGURA 12 - As sete camadas do modelo OSI



Fonte : HAYKIN; MOHER (2008)

Para Ribeiro (2016) quando um computador está enviando informações para uma rede, a camada superior envia a informação para a inferior, acrescentando os dados a ela responsável, e assim sucessivamente até chegar no destino. No caminho inverso as camadas inferiores selecionam as informações relevantes para ela, e passam o restante para a camada superior.

Um dos princípios do modelo OSI é que os protocolos e os procedimentos tem que agir de forma independente das outras camadas. Na camada física a escolha principal é como será realizado o meio de transmissão, se será por sinais elétricos, eletromagnéticos, entre outros. Entretanto, quando falamos de rede sem fio, a escolha afeta duas outras camadas além da física, a de enlace de dados e a de rede. Na camada física o foco fica na modulação, codificação de fonte, codificação de canal e técnicas de detecção, a fim de melhorar o principal recurso de uma rede sem fio que é o espectro de rádio. Na camada de enlace, a ênfase é como é compartilhado o espectro referente ao tempo, frequência, área ou direção angular. O espectro pode ser compartilhado no ambiente de radiofrequência por um método de acesso múltiplo, dependendo dos protocolos presentes na camada de enlace e na subcamada MAC (*Media Access Control* ou Controle de Acesso ao Meio). A camada de rede em redes

sem fio tem a ênfase atrelada à qualidade do serviço de roteamento. Em sistemas sem fio um dos nós pode não ser fixo e isso exige muito da camada de rede, visto que os nós mudam o tempo todo (HAYKIN; MOHER, 2008).

3 METODOLOGIA

Esta seção tem como objetivo expor quais foram os métodos utilizados para obter os dados da rede sem fio, assim como apresentar o tratamento dos dados realizado para posterior análise, a fim de realizar as melhorias na comunicação. Portanto, essa seção foi dividida em quatro etapas, sendo elas: características da obtenção de dados da rede, tratamento dos dados, análise dos dados e melhorias na rede.

3.1 Características da rede

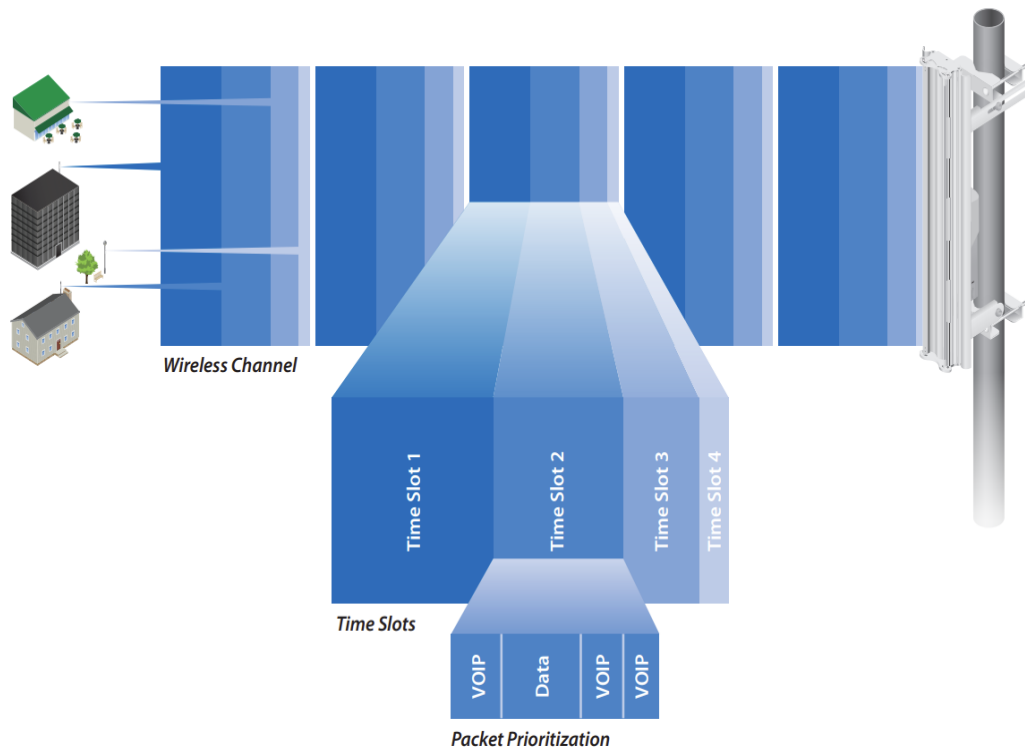
O Complexo de Mineração de Tapira opera desde 2015 utilizando o sistema de despacho da Instale Tecnologia, o *Easymine*, que realiza o controle da operação de 50 equipamentos, entre eles caminhões fora de estrada e escavadeiras. Neste sistema a comunicação utilizada para o envio da informação em tempo real é o *airMAX TDMA*, que se trata de uma plataforma desenvolvida pela Ubiquiti Networks que visa o aumento da performance de redes Ponto-Multiponto (PtMP) 802.11 ao ar livre.

Segundo a Ubiquiti Networks (2014) esse modelo de transmissão de dados tem como foco a conexão ao ar livre, utilizando o protocolo TDMA visando uma melhor escalabilidade para conexões em alta velocidade. O *airMAX TDMA* permite que um único ponto de acesso (uma antena, por exemplo) possa ter até 100 estações conectadas. A plataforma define a frequência dos roteadores dinamicamente, de forma que minimize os ruídos, normalmente excessivos em um ambiente aberto. Tecnologias desenvolvidas para ambientes internos, como o CSMA/CA, tem a facilidade de que os roteadores podem facilmente detectar uns aos outros e assim coordenando o acesso a rede.

Quando a distância passa de quilômetros, algumas estações não conseguem localizar os pontos de acesso, isso cria nós escondidos que podem causar interferência nos pontos de acesso. Conforme a distância aumenta e a rede cresce, a interferência aumenta, assim aumentando o tempo de resposta da comunicação entre os roteadores móveis e o servidores, consequentemente diminuindo a taxa de transmissão. O protocolo TDMA divide um mesmo canal de frequência em até quatro intervalos de tempo como ilustrado na figura 13. Portanto, ele separa um intervalo de tempo para cada estação, assim evitando possíveis interferências causadas por

estações tentando se comunicar ao mesmo tempo, além disso o TDMA consegue otimizar o intervalo de tempo já que ele analisa qual estação está ociosa assim dando preferência para as conexões ativas assim não tomando tempo do ponto de acesso com roteadores inativos.

FIGURA 13 - Modelo de conexão TDMA.



Fonte : Ubiquiti Networks (2021)

A conexão com os equipamentos móveis na operação da mina se torna complexa quando se avaliado a mudança da topografia constante e também a falta de recursos físicos como, energia elétrica para alimentação dos pontos de acesso assim como o a conexão com o servidor, que é o destino final dos dados. Para contornar essas dificuldades são necessárias maneiras mais dinâmicas de posicionar os pontos de acesso à rede, nos quais os equipamentos móveis possam se conectar. A mina na qual esse estudo foi realizado é uma das maiores a céu aberto da América Latina, e a solução encontrada foi utilizar estações móveis de comunicação, como ilustrado na figura 14.

FIGURA 14 - Estações de comunicação móveis.



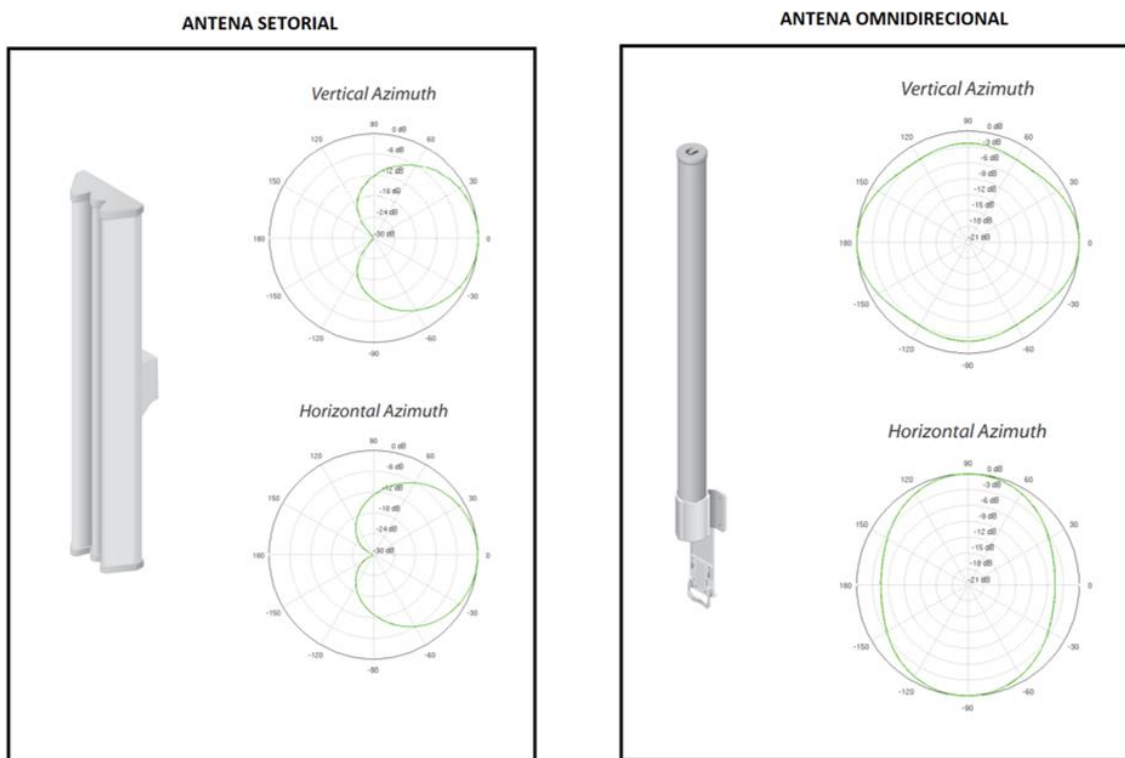
Fonte : Autor(2021)

As estações de comunicação móveis são equipadas com painéis de energia fotovoltaica e um controlador de carga, que carregam as baterias estacionárias com o intuito de manter o circuito ligado durante toda a operação. Com o engate rápido a estação de comunicação pode ser transportada para qualquer ponto da mina, a fim de realizar a cobertura do sinal em novas frentes de serviços.

É necessário que cada estação móvel de comunicação tenha pelo menos um roteador de ponto de acesso para os caminhões na frequência de 2.4GHz e um para realizar a conexão da estação de comunicação com pontos fixos ou outras estações móveis que tenham acesso ao servidor de destino. Geralmente é usado a frequência de 5GHz para realizar esse tipo de conexão, responsável por trafegar as informações de vários equipamentos conectados naquela estação móvel, pois a frequência de 5 GHz provê maior velocidade. O uso de uma frequência diferente também evita criar interferências na conexão dos equipamentos da operação com o ponto de acesso da estação móvel.

As antenas utilizadas de ponto de acesso em 2.4Ghz nas estações móveis podem ser setoriais ou omnidirecionais, sendo que a escolha de qual utilizar depende da cobertura desejada no local de serviço. As omnidirecionais conseguem transmitir o sinal em toda direções com um ângulo de 360°, isso abrange uma grande área de cobertura. Em contra partida, as antenas setoriais direcionam o sinal para uma determinada área, dependendo as especificações. Nesse trabalho as antenas setoriais utilizadas foram de 120°. Apesar da vantagem aparente das omnidirecionais por causa da área de cobertura, nem sempre é vantajoso utilizar ela, em alguns casos as setoriais são mais indicadas, já que focam em uma área específica conseguem distribuir distâncias maiores. A figura 15 mostra os modelos e a dispersão do sinal em torno da antena.

FIGURA 15 - Modelo de distribuição do sinal das antenas.



Fonte : Ubiquiti Networks (2021)

Os caminhões e os equipamentos de carga utilizam antenas omnidirecionais individuais que se conectam ao ponto de acesso nas estações de comunicação móvel. O modelo utilizado em todos é o Bullet M2 da Ubiquiti Networks, que trabalha na banda 2.4Ghz, mostrado na Figura 16. Não foi possível elaborar o planejamento de troca das

antenas para obter um ganho maior, já que isso geraria um custo com qual a empresa não estava disposta a arcar no momento. Portanto o trabalho não engloba a otimização do ganho entre antenas.

FIGURA 16 - Bullet M2.



Fonte : Adaptado de Ubiquiti Networks (2021)

3.2 Obtenção dos dados de rede

Para realizar a análise da rede em como ela se encontrava foi preciso realizar um *site survey*, ou uma pesquisa de campo. A pesquisa de campo foi realizada adaptando um sistema embarcado em uma camionete, para assim realizar a coleta dos dados referentes a rede de forma semelhante aos equipamentos móveis.

O sistema embarcado foi instalado em uma maleta com um display touchscreen de 8", um computador com sistema operacional Windows 7 Intel Dual Core com 4GB de memória RAM, um roteador Bullet M2, antena omnidirecional HGV-2406U, antena de GPS e a telemetria UCM 3.0C como ilustrado na figura 17.

FIGURA 17 - Maleta com sistema embarcado.



Fonte: Autor (2021)

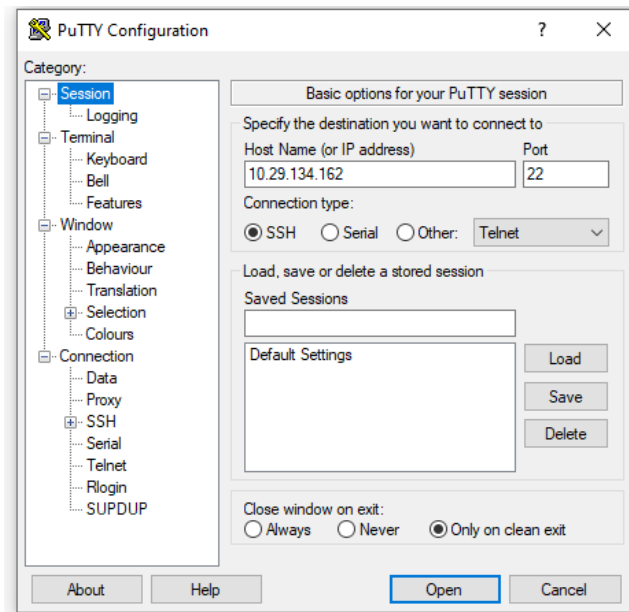
A alimentação do módulo embarcado é feita por uma fonte 12V, inicialmente seria conectado diretamente na alimentação da camionete, porém a corrente não foi suficiente para ligar todos os componentes, assim foi utilizado um inversor automotivo de 12V para 110V, e depois uma fonte de alimentação 110V para 12V com 3A de corrente. A alimentação e comunicação do roteador é feito via PoE, que é embutido na telemetria. A antena de GPS e o roteador foram instalados no exterior da camionete para obter mais precisão e manter mais fiel ao modo como é utilizado nos equipamentos moveis.

A análise da rede foi realizada cruzando os dados obtidos do roteador e do GPS da telemetria, que envia para o Windows por meio de porta de comunicação com *Baud Rate*² de 9600, o registro com as informações da telemetria de dois em dois segundos. Para colher os dados da rede foi necessário utilizar o programa Putty, já que para enviar algum comando para o Bullet M2 é necessário estar no sistema operacional do mesmo. O software Putty tem como finalidade conectar servidores remotamente, emulando alguns protocolos, para este caso foi utilizado o SSH (*Secure*

² Baud Rate é a taxa de transmissão do sinal, não necessariamente equivale à taxa de transmissão de bits.

Socket Layer). Para conectar com o Bullet M2, é necessário o endereço de IPv4, e informar o usuário e a senha para poder mandar algum comando. Os comandos são salvos diretamente no registro das informações, em forma de texto sem formatação. A figura 18 ilustra a interface do software Putty.

FIGURA 18 -Interface do software Putty



Fonte: Autor (2022)

Após o acesso obtido, o primeiro passo foi ajustar o horário no Bullet M2 para coincidir com o do computador conectado, para que os dados possam ser cruzados usando o horário correto como referência, para isso foi usado o comando:

```
date +%T -s "HH:MM:SS"
```

Com o horário ajustado, para solicitar as informações da rede conectada foi usado o seguinte comando:

```
while true; do OUTPUT=$( iwconfig ath0 | grep 'Link');HORA=$(date "+%H:%M:%S");sleep 1; echo $HORA $OUTPUT; done
```

Com os dados obtidos é possível realizar as análises. Essas análises são descritas na próxima seção (3.3).

3.3 Análise dos dados de rede

A telemetria retorna trinta e cinco variáveis distintas assim que ela é ligada, enviando as linhas de código via serial para o computador, porém para este trabalho serão utilizadas apenas quatro variáveis que serão a data, latitude, longitude e altitude. O comando *iwconfig* enviado no SSH do roteador retorna quatro variáveis principais que serão utilizadas no trabalho, que são: data, qualidade da conexão, nível do sinal e nível de interferência. As informações foram salvas em forma de texto no bloco de notas, os valores de referência são dados em *-dBm* (decibel-miliwatt), que mede a potência do sinal que chega ao roteador. A qualidade do sinal é uma relação direta com o nível do sinal que chega no bloco de notas como uma variável negativa, assim subtraindo os *-96dBm*, que é o mínimo de potência aceitável pelo roteador, se obtém a variável qualidade do sinal. Como ela mantém a mesma proporção do nível do sinal será ilustrado apenas com o nível do sinal, segue a fórmula da relação entre as variáveis:

$$\text{Qualidade do sinal} = (\text{Nível do sinal em dBm}) - (-96\text{dBm})$$

As variáveis foram divididas e lançadas em arquivo *.xmls* na forma de planilha, os dados foram comparadas de acordo com o horário, assim obtendo seis variáveis conforme ilustrado resumidamente na tabela 1.

TABELA 1 - Tabela de dados

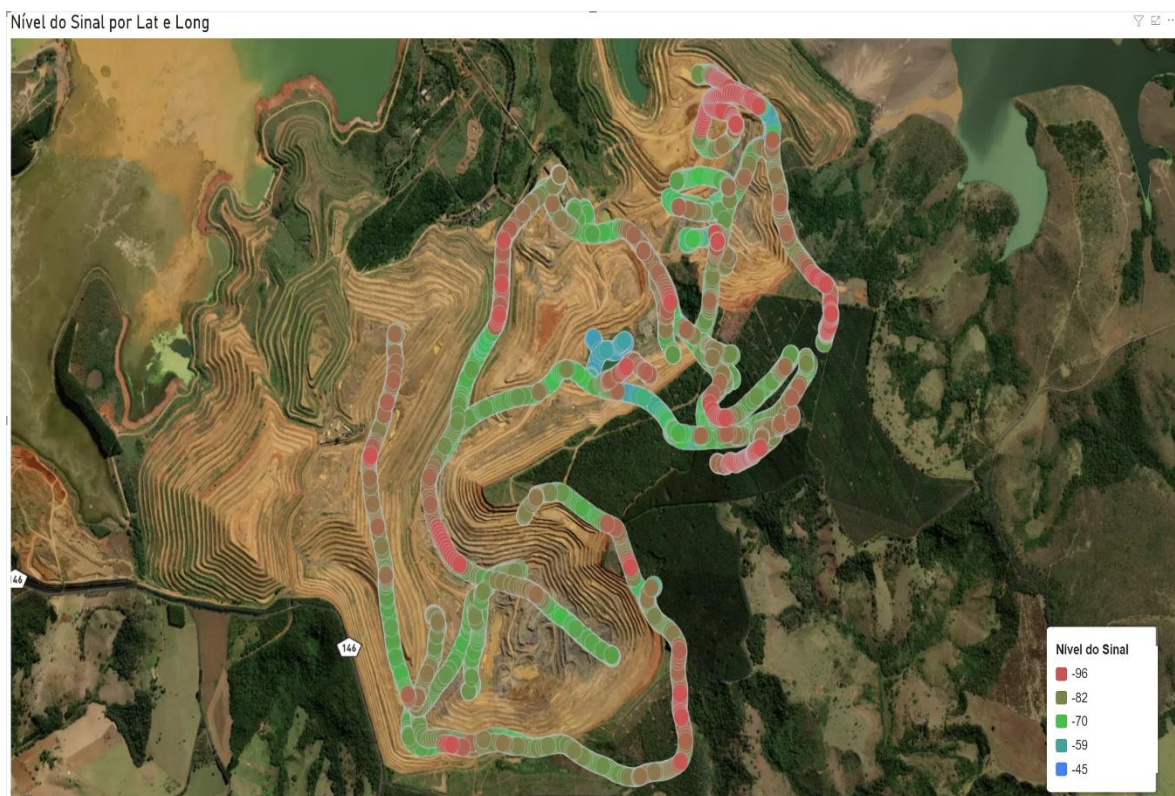
Data	Qualidade do Enlace	Nível do sinal	Nível de ruído	Latitude	Longitude	Altitude
26/11/2021 12:49:04	53	-43	-87	19,8603617	46,8406967	1220,4
26/11/2021 12:49:06	54	-42	-87	19,8603633	46,8406950	1220,1
26/11/2021 12:49:08	53	-43	-87	19,8603667	46,8406917	1220,0
26/11/2021 12:49:10	53	-43	-87	19,8603667	46,8406883	1219,9
26/11/2021 12:49:12	53	-43	-87	19,8603667	46,8406867	1219,7

Fonte: Autor (2022)

A rota feita para a realizar o *site survey* tinha como finalidade identificar os pontos mais recorrentes de trabalho onde os equipamentos móveis circulam, como praças de carregamento, praças de descarregamento e vias principais de acesso. Porém também foram analisados alguns pontos em que não havia frente de serviço no momento, mas que a curto prazo poderiam voltar a ser utilizadas. Foi utilizado a camionete disponibilizada pela empresa, respeitando as mesmas condições de velocidade que os equipamentos pesados, para obter resultados mais fiéis.

Uma vez gerados os arquivos de rede e posicionamento, e sincronizado a planilha de dados, foi utilizado o software PowerBI com o aplicativo de extensão MapBox para plotar os dados em uma mapa. Para cada variável de rede foi gerado um mapa.

FIGURA 19 - Mapa nível do sinal

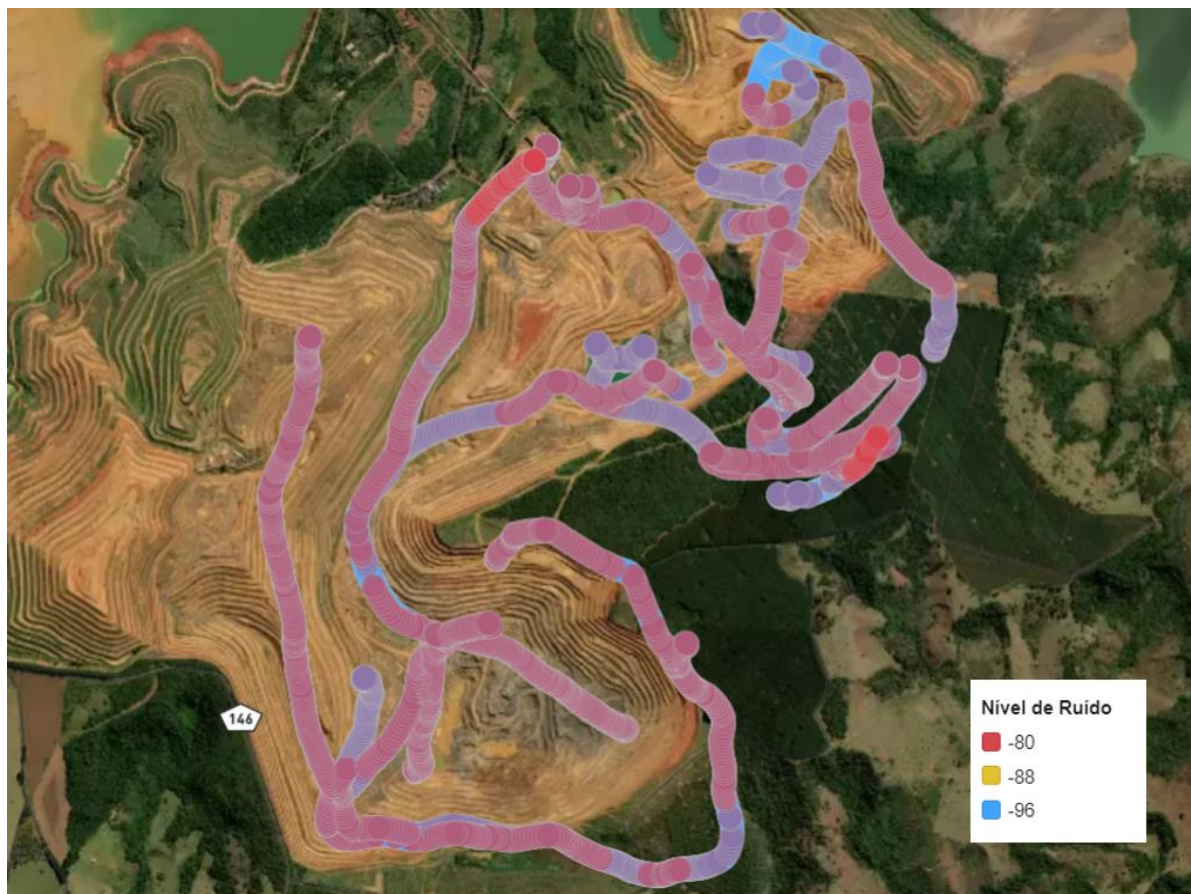


Fonte: Autor (2022)

Ambos os mapas gerados apresentados na figura 19 e 20 tem como variável decibel-miliwatt, o -96dBm pode ser considerado como sem sinal ou desconectado. Nas Figuras 19 e 20, as cores mais quentes (vermelho e laranja) indicam pior

qualidade do sinal, sendo que na Figura 19 essa indicação é que o sinal é fraco, e na figura 20 essas cores indicam uma interferência muito alta. Nas Figuras 19 e 20, as cores mais frias (verde e azul) indicam uma melhor qualidade de conexão, sendo que na Figura 19 essas cores indicam que o sinal é mais forte, e na Figura 20 indicam menos ruído no sinal.

FIGURA 20 - Mapa de ruído do sinal

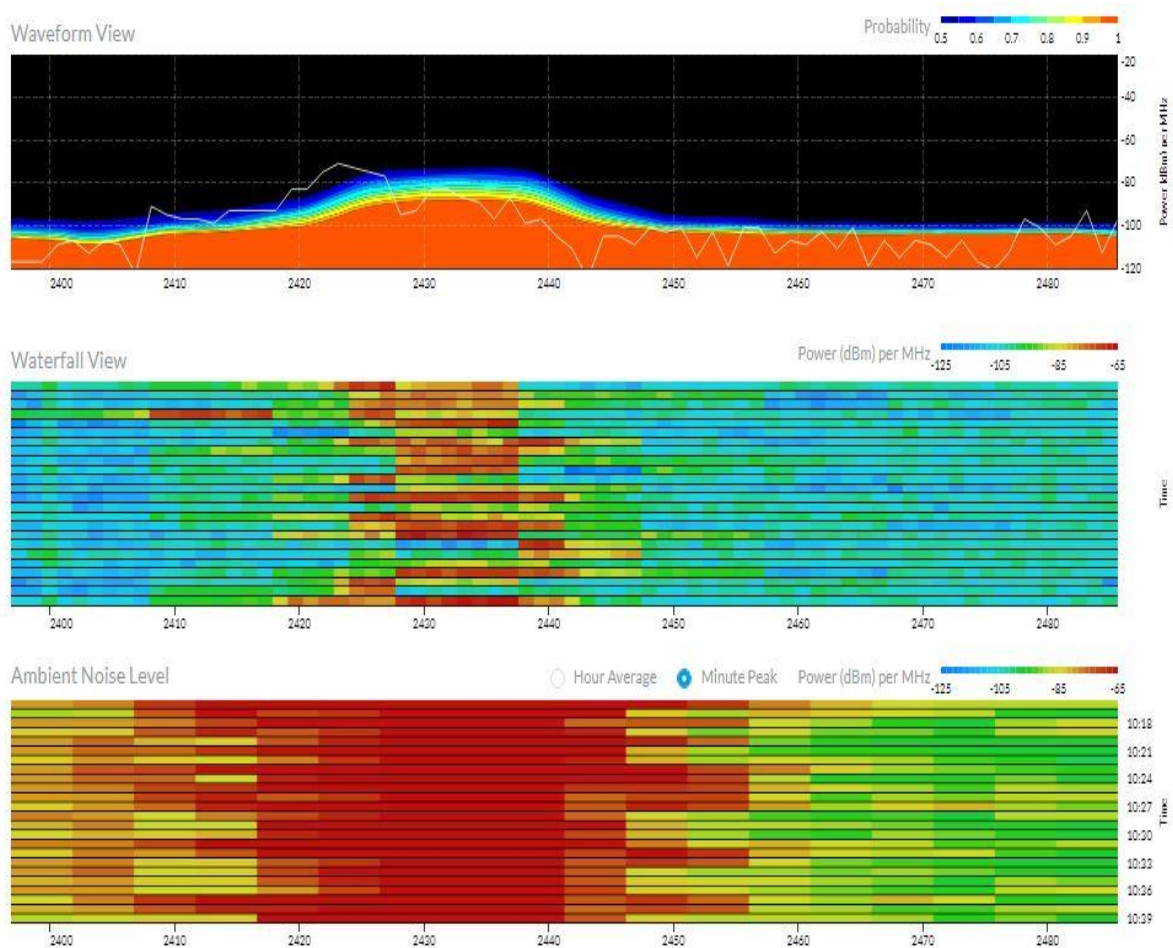


Fonte: Autor (2022)

Os roteadores da Ubiquiti Networks utilizados nas estações de comunicação móveis dispõem de uma ferramenta para análise de rede chamada *AirView*, e ela disponibiliza algumas informações relevantes sobre interferência eletromagnética no espectro *Wi-Fi* utilizado. Essa ferramenta demonstra em tempo real a ocupação do ambiente de rádio frequência, sendo que quanto mais congestionado está o ambiente, mais interferências a conexão vai sofrer e, conseqüentemente, diminuindo a velocidade de transmissão de dados entre os equipamentos móveis e as estações de

comunicação. A ferramenta está ilustrada na figura 21 com o AirView de um roteador na operação.

FIGURA 21 - AirView Ubiquiti



Fonte: Autor (2022)

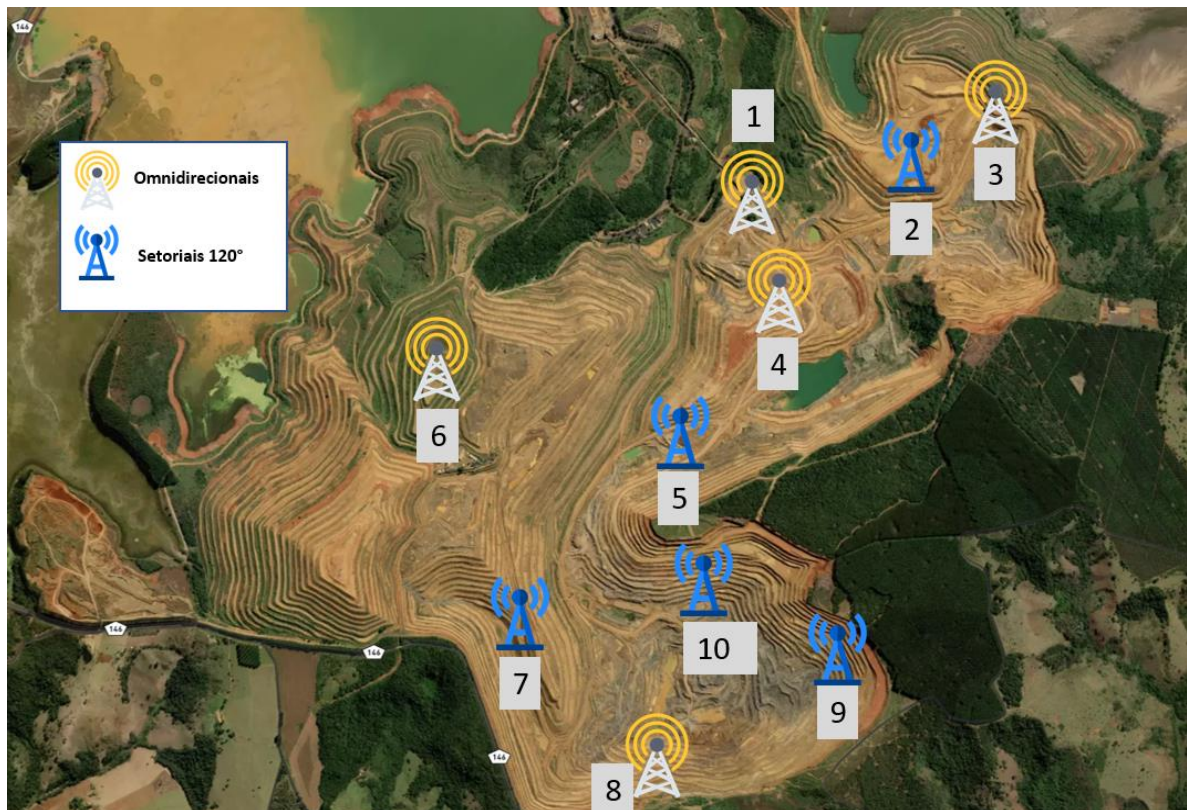
A ferramenta expõe os dados apresentando três gráficos: o *Waveform View* (Gráfico em forma de onda), o *Waterfall View* (Gráfico em forma de cascata) e o *Ambient Noise Level* (Nível de ruído no ambiente). Esses gráficos apresentam a energia em dBm em cada espectro da frequência, sendo que cores mais quentes indicam que há mais probabilidade de incidência de ruído e cores mais frias indicam canais que estão menos congestionados, assim diminuindo a probabilidade de ocorrer algum tipo de interferência no enlace. O gráfico em forma de cascata atualiza as informações de dois em dois segundos, indicando os níveis de ruído assim como o gráfico de nível de ruído no ambiente, porém este faz uma média em cada linha, que

pode ser por minuto ou por hora. O gráfico em forma de onda mostra em tempo real os níveis de interferência, quanto maior o nível da onda maior é o nível do ruído causado pelo ambiente, lembrando que ruídos em torno de -100dBm nem são detectados pelos roteadores, já que eles trabalham com potência acima de -96dBm.

3.4 Alterações realizadas

Realizado o levantamento das informações do estado da rede, foi feita uma solicitação ao gestor responsável para poder fazer as alterações na rede a fim de melhorar a conexão. Após a aprovação, o primeiro passo foi reavaliar a distribuição das estações de comunicação, que devido à mudança da topografia na principal frente de serviço, os roteadores ficaram distantes da praça de carregamento, assim provocando certa lentidão e atraso nas informações. A figura 22 ilustra como estava a distribuição dos roteadores 2.4Ghz, que servem de ponto de acesso para os equipamentos móveis.

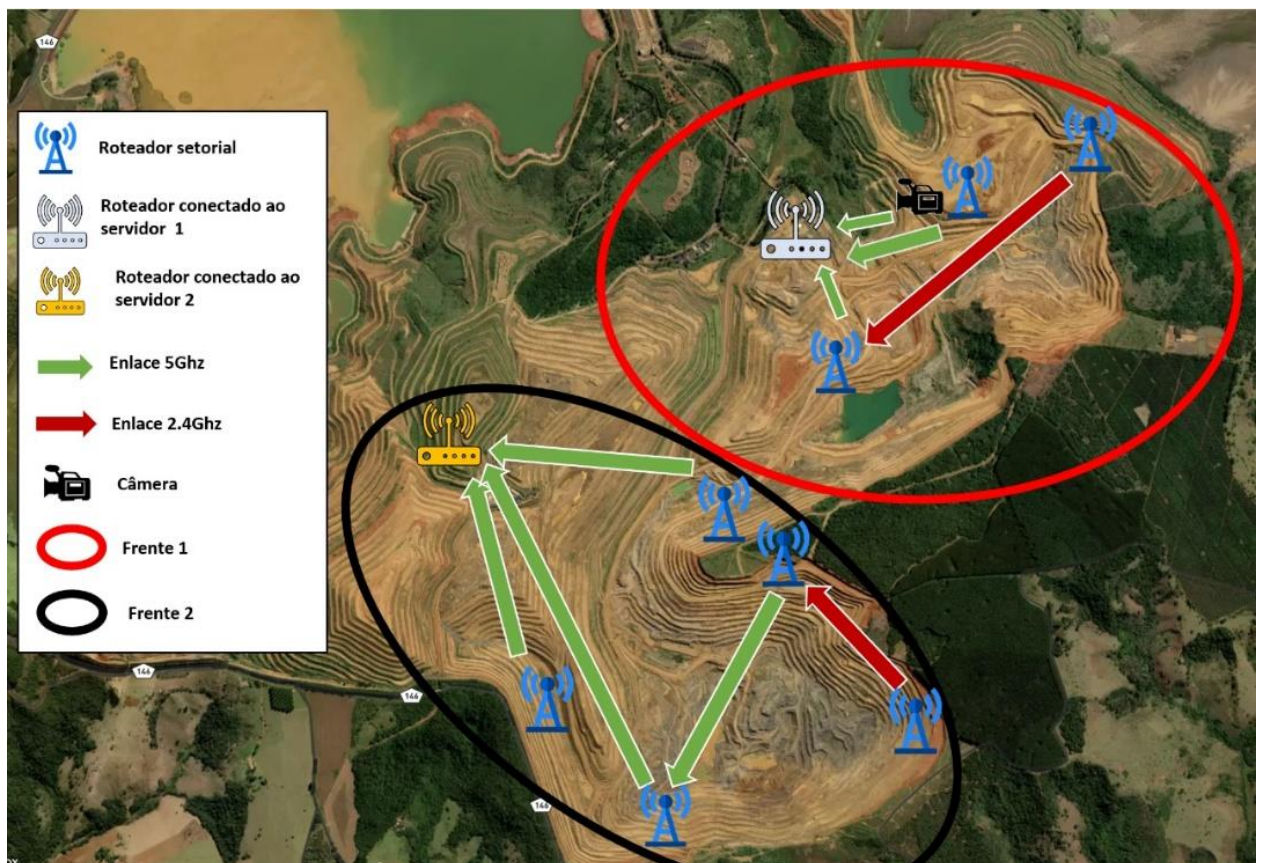
FIGURA 22 - Distribuição dos roteadores 2.4Ghz



Fonte: Autor (2022)

Para um fácil entendimento dividiremos a mina em duas frentes hipotéticas de serviço, Frente 1 e Frente 2, como indicado na figura 23. Durante a realização do trabalho, os equipamentos móveis estavam operando apenas na frente 1. A frente 2 estava sendo utilizada para movimentação de material estéril e realização de melhorias pela equipe de infraestrutura da mineradora. De acordo com o planejamento da empresa, só haveria movimentação utilizando a frota principal novamente no segundo trimestre de 2022. Com isso, o foco principal foi a melhoria da frente 1, deixando a frente 2 preparada, caso ocorra alguma operação esporádica no local.

FIGURA 23 - Enlace entre as estações de comunicação

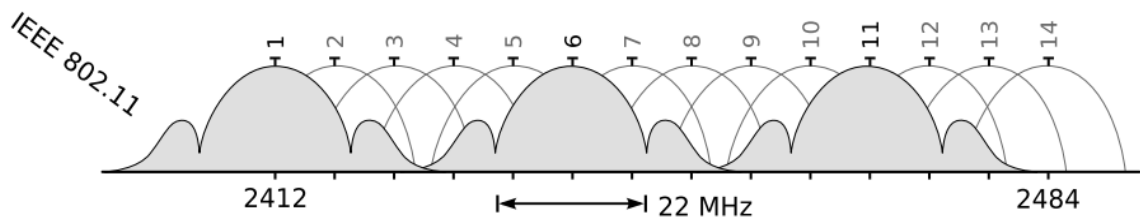


Fonte: Autor (2022)

Em cada ponto com acesso ao servidor, normalmente são utilizados pelo menos dois roteadores de 5GHz para que as estações móveis se conectem. Isso é feito para não sobrecarregar apenas um roteador, assim não comprometendo a velocidade da conexão de cada enlace. Porém no servidor 1, um dos roteadores

Outra alteração foi modificar as frequências utilizadas na banda 2,4GHz, que é a responsável por realizar o enlace dos equipamentos móveis. Como ilustrado na figura 14, podemos analisar um congestionamento muito grande no ambiente de rádio frequência em torno de 2432MHz, que é única frequência utilizada para os 50 equipamentos móveis da mina. Isso cria uma interferência muito grande, prejudicando a velocidade da conexão e estabilidade da mesma, como podemos ver no gráfico em forma de onda existem picos de interferência na casa dos -80dBm, enquanto as outras faixas de frequências estão livres. No Brasil a ANATEL (2020) permite que as faixas entre 2412Mhz a 2482Mhz sejam utilizadas, assim é possível selecionar entre 13 canais de 20MHz cada. Entretanto, seguindo os padrões 802.11b/g/n, é recomendável que haja pelo menos 22MHz de diferença entre cada centro do canal utilizado, para atenuar os níveis de ruído (CICIORA; *et al.* 2004). A figura 25 ilustra os canais sobrepostos

FIGURA 25 - Canais 2,4GHz



Fonte: Adaptado de Wetzker *et al.* 2016.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esta seção tem como objetivo apresentar os resultados das soluções propostas no capítulo anterior. Por tanto decidiu-se dividir esse capítulo em duas etapas principais, sendo elas: Resultado por nível de sinal e Resultados por nível de ruído.

4.1 Resultados por nível de sinal

Com os dados demonstrados na seção 3.3, obtidos através do *Site Survey*, foi possível identificar os pontos suscetíveis à melhorias na cobertura. A figura 26 mostra a variável nível do sinal antes das modificações. Percebe-se que em pontos mais distantes das estações de comunicação instaladas, há queda na qualidade do sinal. Além disso a frente de serviço avançou muito, criando novos pontos sem acesso às estações de comunicação, devido à novas pilhas de material estéril e ao avanço das escavadeiras.

FIGURA 26 - Sinal Frente 1

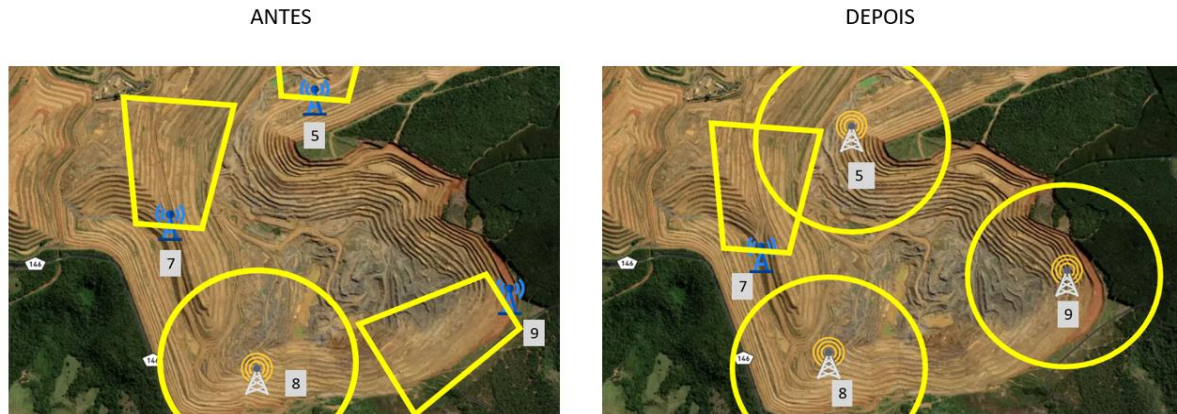


Fonte: Autor (2022)

A área indicada na figura 26 demonstra onde ocorreu o avanço na frente de serviço, mostrando que as estações de comunicação da frente 2 não estavam cobrindo de maneira eficiente essa nova área. Assim então foi decidido adicionar uma estação de comunicação móvel mais próxima à área indicada. Uma das dificuldades foi encontrar um local adequado para a estação de comunicação que ficasse fora do avanço da operação, assim não sendo necessário remanejar ela com frequência. Outro problema é que não havia visada direta para realizar a conexão da estação de comunicação com o servidor, sendo o ponto de acesso mais próximo o roteador do servidor 1. Para esse ponto de acesso, existia uma pilha de material estéril impedindo um enlace direto, então foi decidido por conecta-la a um dos roteadores do servidor 2, como ilustrado na figura 24. Mesmo a distância sendo maior era o mais indicado, por ser um enlace feito diretamente com as estações de comunicação, sem a necessidade de intermédio de outras estações de comunicação. Além disso também aliviaria o roteador do servidor 1, que estava sobrecarregado.

A estação de comunicação 10 foi realocada da frente 2 para o novo local na frente 1. Apesar de que esta frente de serviço não tenha planos de operação a curto prazo, foi proposto realizar algumas alterações do modo como a rede se encontrava, para que a falta da estação de comunicação realocada não seja impactante. O roteador utilizado na estação de comunicação 9 era um setorial de 120°, a realocação da estação de comunicação 10 criaria um ponto sem sinal, para cobrir a área foi colocado uma antena omnidirecional na antena 9. Também foi alterado o local da estação de comunicação 5 e colocado uma antena omnidirecional com intuito de ser um reforço para a antena 9, e para corrigir um antigo problema na cobertura da frente 2. A figura 27 ilustra a cobertura antes e depois das alterações.

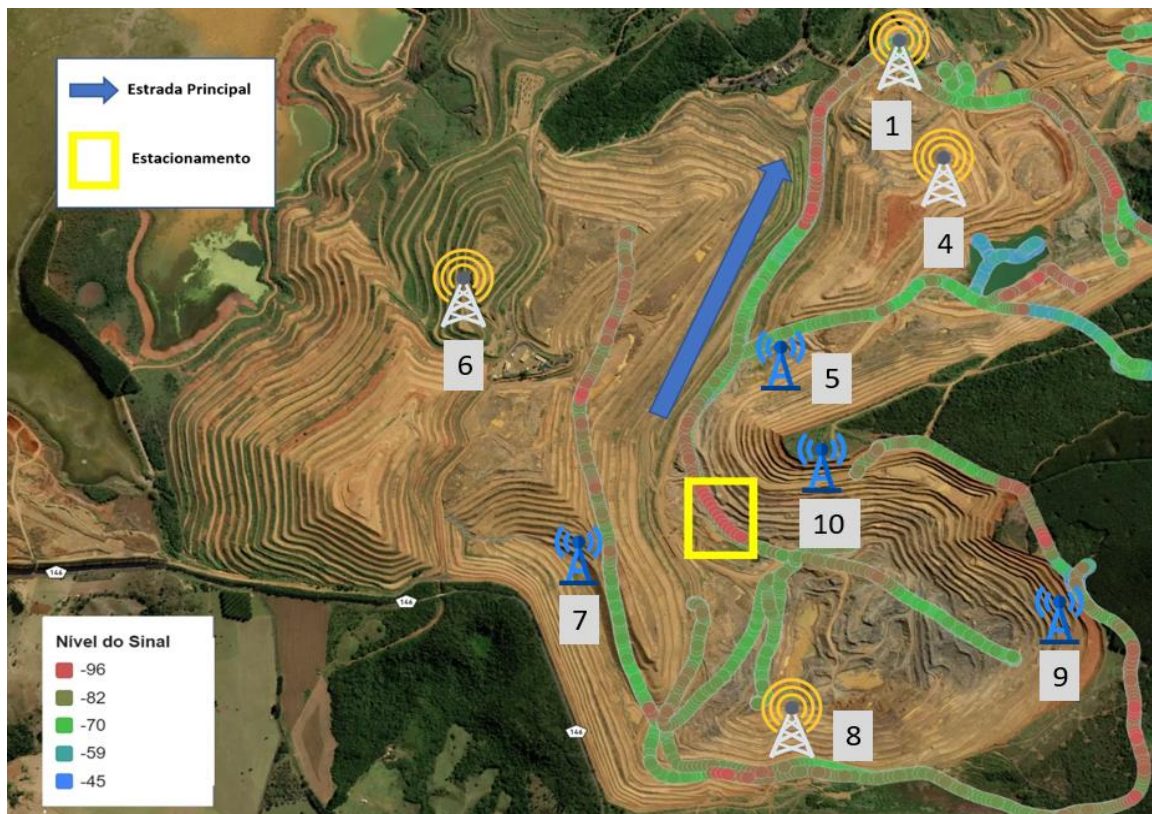
FIGURA 27 - Modificações de antenas Frente 2



Fonte: Autor (2022)

A antena omnidirecional de 2,4GHz, instalada junto aos pontos de acesso ao servidor 2, realizava a cobertura do principal estacionamento da frente 2. Porém com o aumento da pilha de estéril ela perdeu a visada para este estacionamento e havia muitas reclamações que os equipamentos parados ficavam sem conexão com o sistema de despacho. A figura 28 ilustra a estrada principal e o estacionamento.

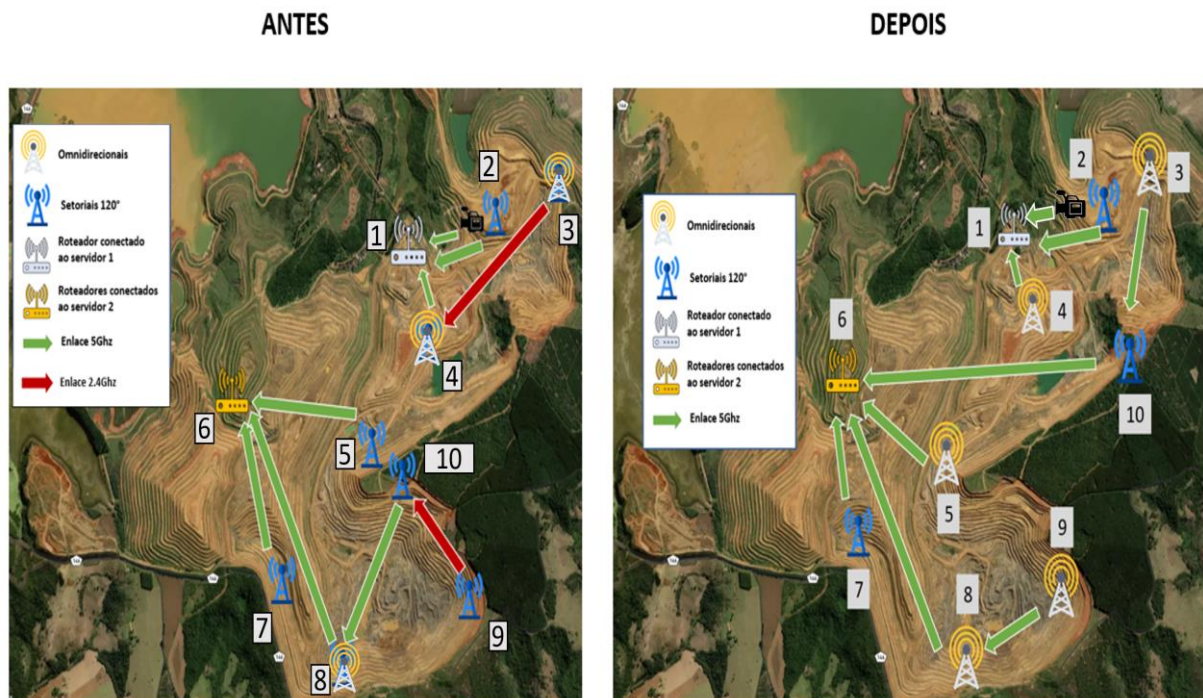
FIGURA 28 - Frente 2



Fonte: Autor (2022)

Com a mudança de local da estação de comunicação para realizar a cobertura do estacionamento foi feito a troca também do roteador de setorial para omnidirecional, para que realize a cobertura da estrada principal e também para cobrir parte da área da estação de comunicação realocada. A figura 29 ilustra o antes e depois das modificações realizadas nas estações de comunicação, assim como as mudanças nos enlaces, agora todos em 5GHz.

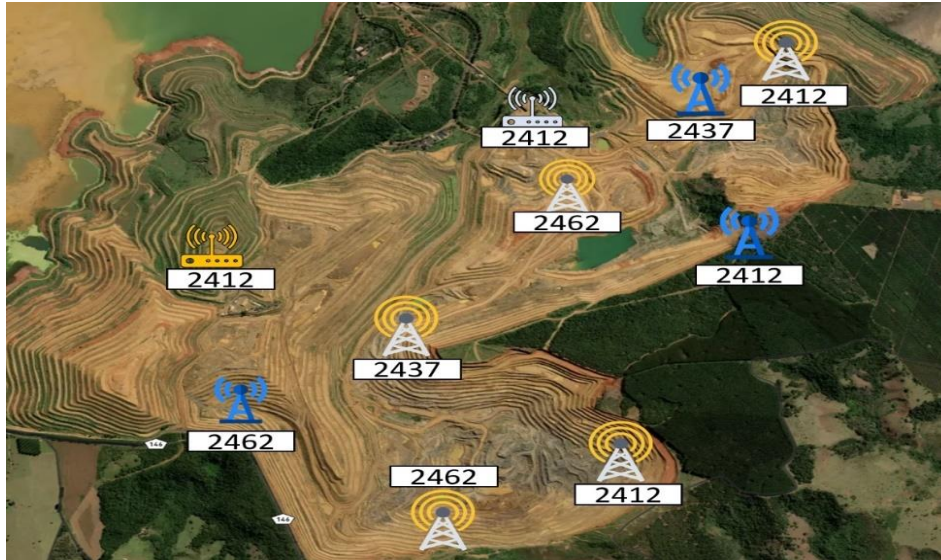
FIGURA 29 - Alterações de localização e enlace das estações de comunicação.



Fonte: Autor (2022)

A figura 30 ilustra a alteração nos canais de frequência na banda 2,4Ghz com o intuito de diversificar o ambiente de rádio frequência. Como demonstrado no *AirView* da figura 14, o canal utilizado 2432Mhz estava sofrendo uma alta interferência. Os novos canais foram selecionados seguindo os padrões demonstrados na figura 18, a fim de evitar sobreposição do sinal que causa ruído, e assim prejudicando a velocidade da conexão. Para isso, foram feitas as mudanças em cada Bullet M2 de todos os caminhões e equipamentos de carga, já que os canais são configurados manualmente. Como haviam três canais para dez estações de comunicação, a escolha de cada canal foi feita visando que as estações de comunicação utilizando o mesmo canal estivessem distantes uma das outras, sempre que possível.

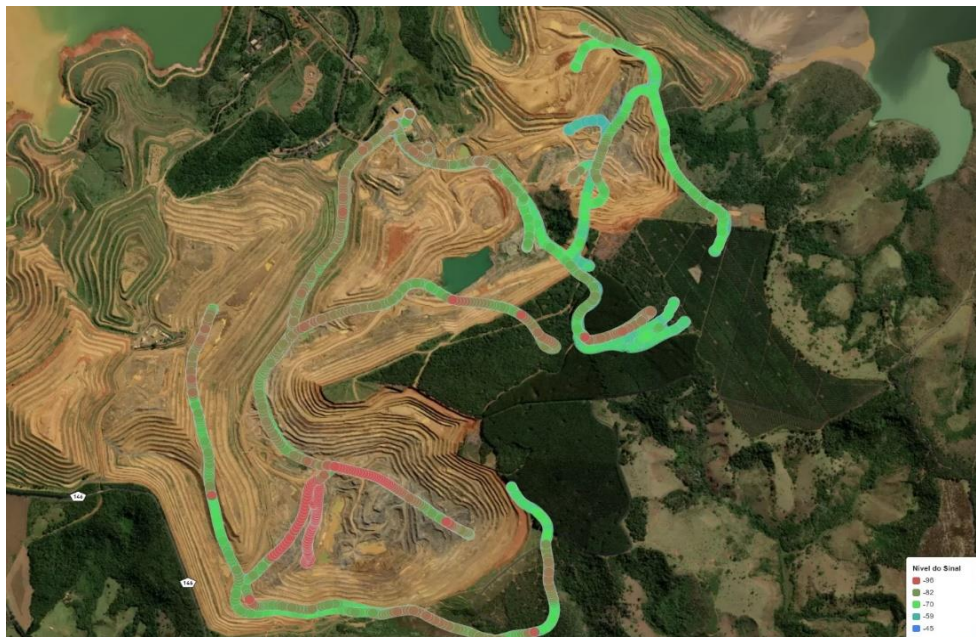
FIGURA 30 - Mudança dos canais 2,4GHz



Fonte: Autor (2022)

Para obtenção dos dados após as modificações citadas foi feito um novo *Site Survey* em campo. Devido ao período de chuvas durante a realização do novo levantamento de campo, não foi possível acessar todas as áreas feitas na análise anterior, pois algumas praças estavam interditadas com risco de atolamento. Foi feita a leitura nos principais pontos de interesse, ilustrado na figura 31.

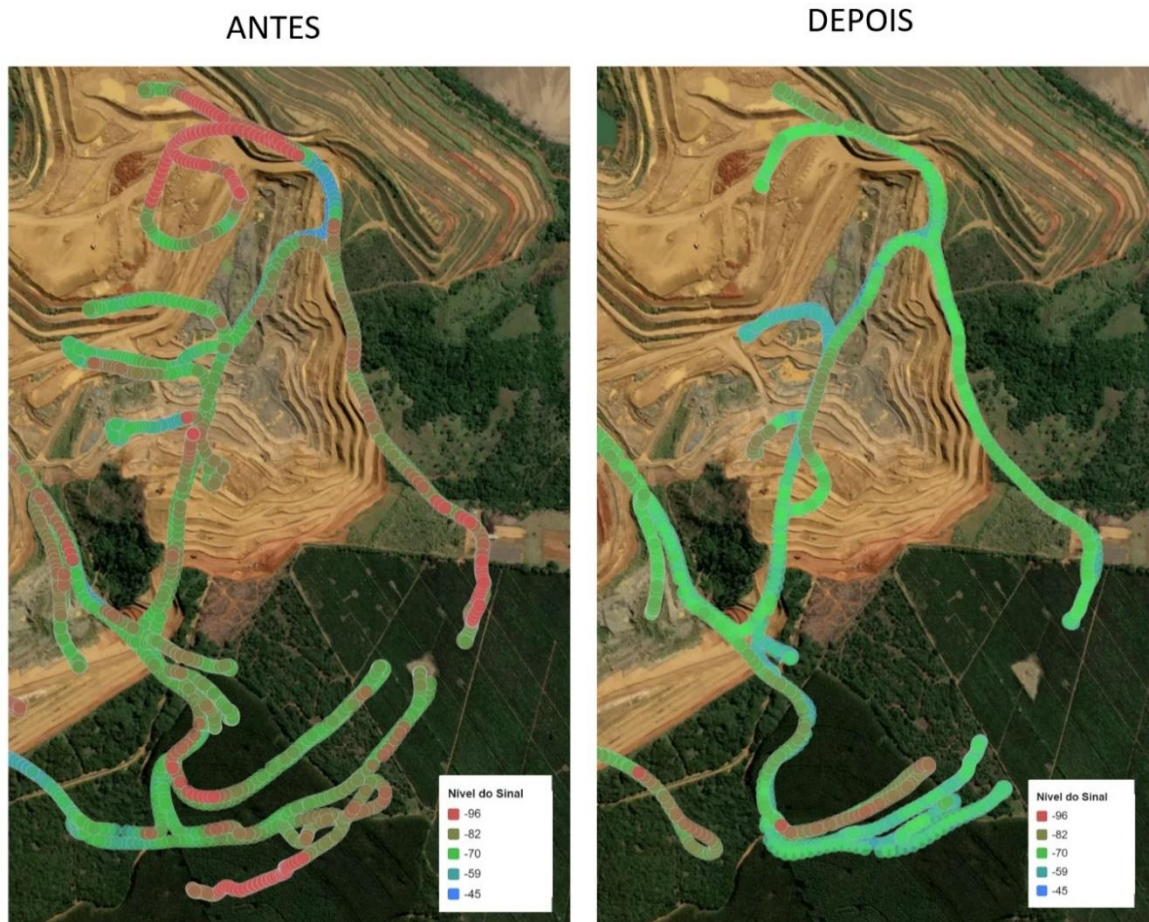
FIGURA 31 - Mapa de nível de sinal após modificações



Fonte: Autor (2022)

É possível notar uma melhoria em comparação com o *Site Survey* anterior. Levando em consideração a frente 1, onde a mudança obteve mais resultados, a melhora se dá pela adição de mais uma estação de comunicação próxima a área de carregamento e à diversificação do ambiente de frequência. A figura 32 demonstra a comparação feita em nível de sinal na frente 1.

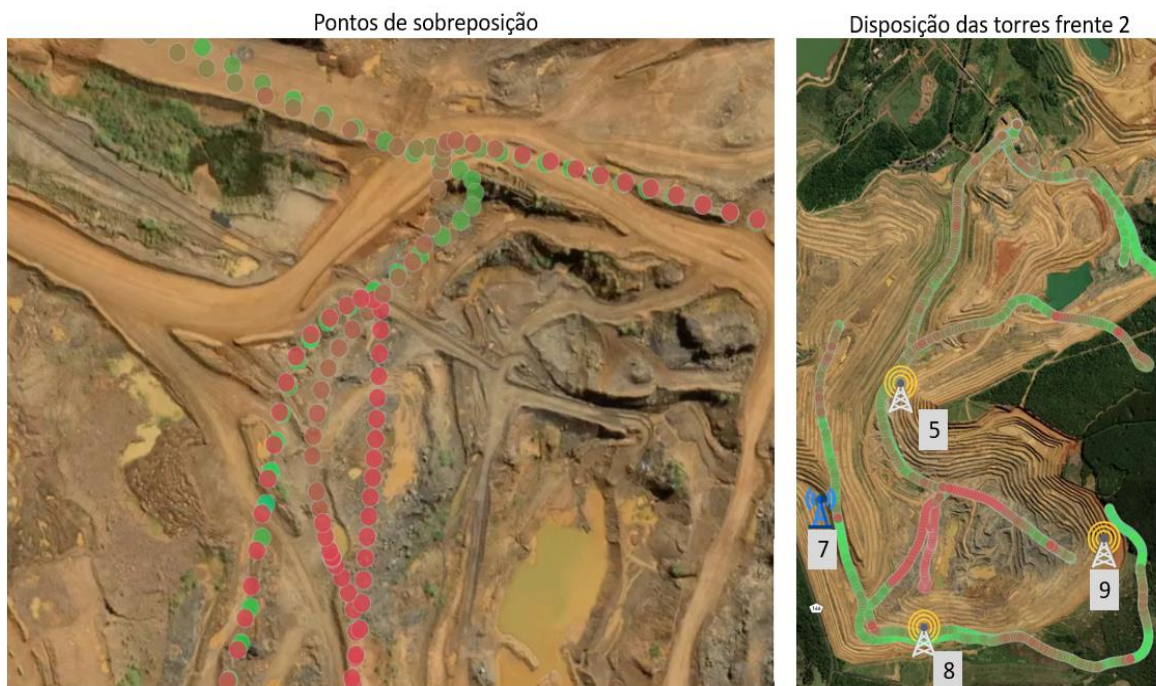
FIGURA 32 - Comparação do nível do sinal frente 1



A frente de serviço 2 obteve alguma melhoria em algumas áreas, mas como ilustrado na figura 32, também apresentou queda no nível do sinal em outras. Isso pode ser relacionado com a mudança da estação de comunicação 10, mas também que o *Site Survey* foi realizado tanto no caminho de ida quanto de volta. Os dados mais recentes, da volta, se sobressaem sobre os mais antigos no mapa da figura 33, que ilustra a comparação referente à frente de serviço 2.

O *Sensitivity Threshold* estava desligado com o intuito de aproveitar a conexão estabelecida o máximo possível, porém isso provocou os problemas de desempenho, como já vistos. Ao invés de se desconectar e procurar um enlace melhor, o Bullet M2 mantém a mesma conexão até que ela se perca, mesmo que o sinal esteja muito fraco.

FIGURA 34 - Sobreposição do sinal do *Site Survey*

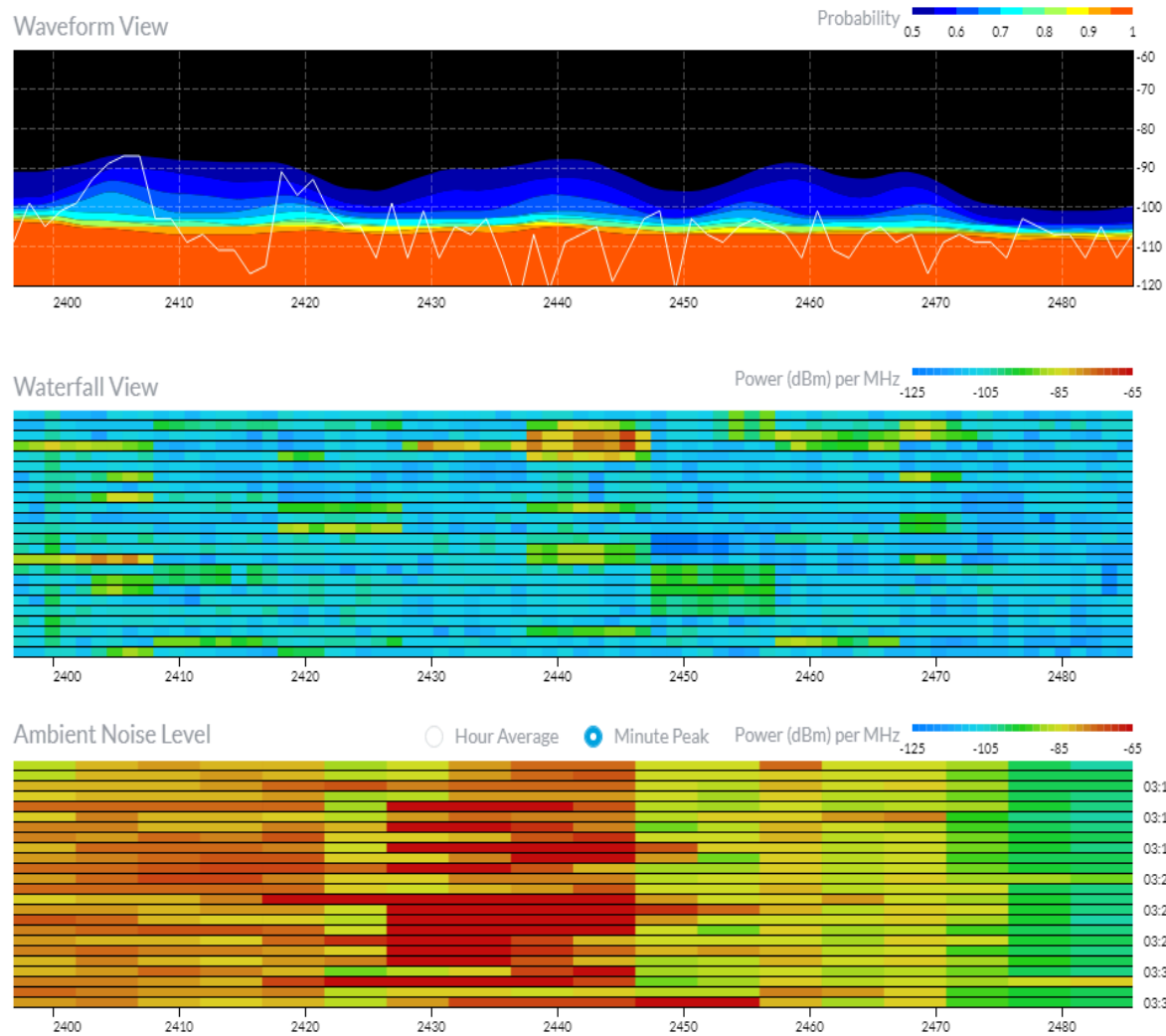


Fonte: Autor (2022)

4.2 Resultados por nível de ruído

Outro parâmetro de resultado que demonstra se houve alguma melhoria é o de nível de ruído, as alterações realizadas nos canais de frequência foram demonstradas no capítulo 3.4. Os canais foram selecionados de modo que não haja interposição do sinal, não causando ruído e, ao mesmo tempo, trabalhando na faixa estabelecida pela ABNT como não licenciada. Os canais selecionados foram o 1, o 6 e o 11, que operam respectivamente com 2412MHz, 2437MHz e 2462MHz. Para efeitos de comparação, a figura 21 mostra o AirView do roteador da estação de comunicação número 4 antes da modificação. Após as modificações feitas, o AirView do mesmo roteador é mostrado ilustrados na figura 35.

FIGURA 35 - AirView Ubiquiti depois das mudanças



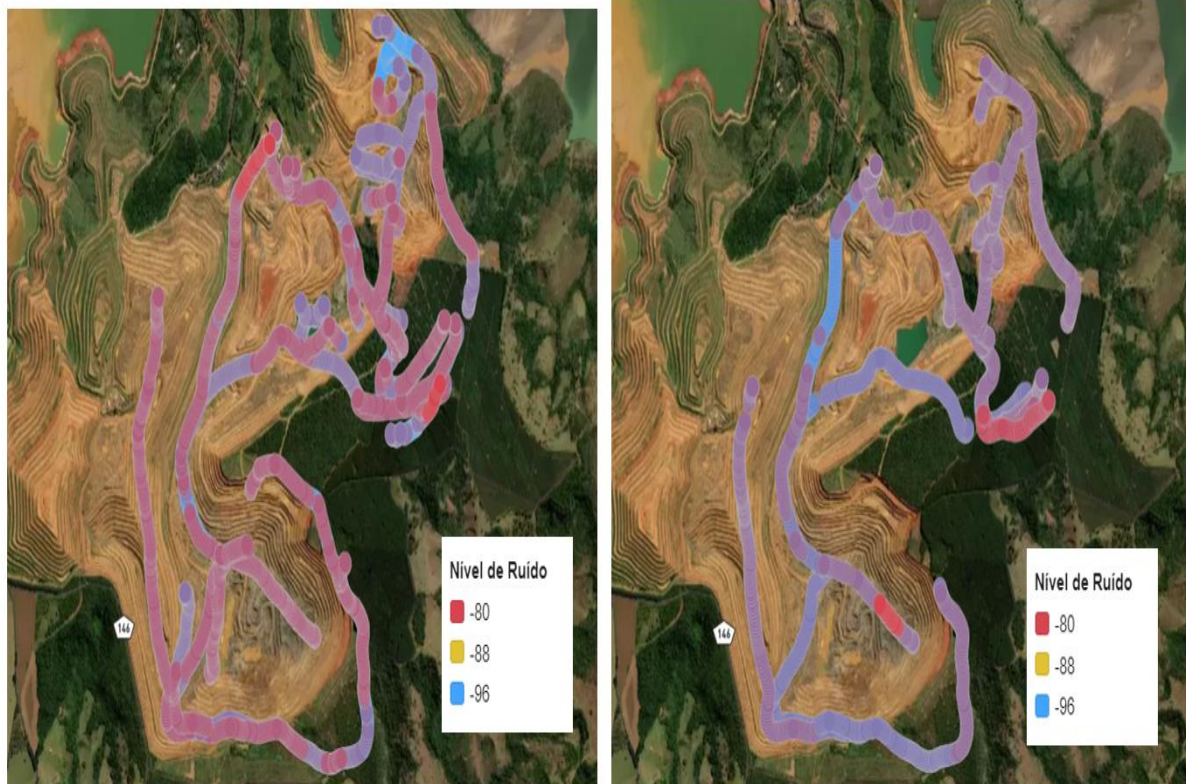
Fonte: Autor (2022)

É possível notar que existe uma redução significativa no ruído. O gráfico em forma de onda mostra que a probabilidade de existir interferência acima dos -90dBm é muito baixa, já antes a incidência de ruído era muito provável até sinais próximos a -80dBm, no gráfico em forma de cascata e no nível de ruído do ambiente, percebe-se que existe uma dispersão dos canais selecionados, assim o ambiente se torna mais propício e menos congestionado. Essa diferença pode ser vista também no *Site Survey* feito com o nível de ruído como parâmetro. A comparação entre o antes e o depois está ilustrada na figura 36, onde é possível notar uma discreta melhora em comparação com o *Site Survey* realizado antes, a média do nível do ruído em dBm abaixou.

FIGURA 36 - Nível de Ruído comparação

ANTES

DEPOIS



Fonte: Autor (2022)

Essas alterações surtiram bastante efeito, sendo a principal contribuição a diminuição de demora no envio de informações dos equipamentos para o servidor. Outra melhora significativa foi na disponibilidade para acesso remoto aos equipamentos. Todos os equipamentos possuem um endereço IPv4 fixo tabelado para realizar o acesso remotamente, isso facilita para os técnicos prestarem algum suporte ou avaliarem um problema, sem a necessidade de acesso físico ao equipamento. Esse acesso também é usado pelo pessoal da sala de controle que tem o acesso remoto para acompanhar a operação do sistema embarcado em tempo real. A melhoria na qualidade do sinal deixou os equipamentos mais acessíveis na rede, mesmo em momentos de deslocamento na mina.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo principal, analisar e propor melhorias na rede de distribuição sem fio, a fim de auxiliar o monitoramento e as tomadas de decisões do dia-a-dia do controle de operações de uma mina. O problema inicial foi identificado analisando a periodicidade com que eram abertas novas ordens de serviço referentes a atraso na chegada de informações dos equipamentos. Dadas as pretensões iniciais do projeto, considera-se alcançada a finalidade da otimização, que era diminuir o tempo de resposta e aumentar a disponibilidade da comunicação dos equipamentos em campo com o servidor.

O estudo realizado teve como base o levantamento de dados obtidos pelo *site survey*, que leva em consideração alguns aspectos importantes na comunicação sem fio. As informações foram fornecidas pelo próprio roteador móvel, utilizando o comando *iwconfig* no SSH do firmware, que retornou os níveis de sinal, os níveis de ruído e a qualidade da conexão. Comparando as informações no período de tempo com o rastro do GPS da telemetria da Instale, foi possível obter as informações da conexão sem fio ao longo da mina. Com a pesquisa concluída, foi possível identificar os pontos que careciam de mais atenção, entre elas a realocação das estações de comunicação e a troca do modelo das antenas, a fim de otimizar a área de cobertura. Também foi feita uma diversificação do ambiente de radiofrequência, visto que a distribuição estava gerando muito ruído, assim foi feita a mudança dos canais de frequência a fim de minimizar a interferência.

Foi realizado outro *site survey* após as modificações, a fim de comparar com a situação anterior. Os resultados foram satisfatórios, principalmente na frente 1, onde está concentrada a frota de operações. Tanto os níveis de ruído diminuíram com a diversificação dos canais entre as estações de comunicação, como a intensidade do sinal conseqüentemente aumentou, visto que existe uma relação direta entre os dois. Antes o acesso remoto aos equipamentos era feito apenas com eles parados e perto de alguma estação de comunicação, agora pode ser feito durante todo o trajeto, isso indica tanto estabilidade assim como taxa de transferência maior da cobertura. Ainda ficaram alguns ajustes para otimizar a rede sem fio, como o limiar de sensibilidade dos roteadores móveis, que é um delimitador de sinal que define quando a potência do sinal do enlace deve ser cortada e procurar um sinal melhor.

Enfim, é notável ressaltar a grande importância do trabalho para os envolvidos. Para o pesquisador foi possível adquirir conhecimento sobre sistemas embarcados, redes sem fio e sistemas de despacho. As empresas envolvidas obtiveram um resultado satisfatório na disponibilidade da rede. Os resultados podem ser replicados em outras unidades que utilizam a comunicação sem fio para o sistema de despacho. Para o ambiente acadêmico, os resultados poderão servir de fonte de pesquisa para futuros trabalhos no âmbito das comunicações sem fio.

REFERÊNCIAS

AMARAL, A. J. R.; LIMA FILHO, C. A. **Índice de Geologia e Mineração – Conceito: Mineração**. Agência Nacional de Mineração – Pernambuco, 2019, Disponível em: <http://www.dnpm-pe.gov.br/Geologia/Mineracao.php> . Acesso em: 29 jul. 2021.

AMARAL, M., **Modelos matemáticos e heurísticas para auxílio ao planejamento de operações de lavra em minas a céu aberto**, Universidade Federal de Minas Gerais, Mestrado em Engenharia de Produção, Belo Horizonte, 2008

ANGELO, M. **Uma das maiores produtoras de fosfato do mundo, Mosaic Fertilizantes tem 12 barragens de alto risco no Brasil**. Observatório da Mineração, 2019. Disponível em: < <https://observatoriodamineracao.com.br/uma-das-maiores-produtoras-de-fosfato-do-mundo-mosaic-fertilizantes-tem-12-barragens-de-alto-risco-no-brasil/>>. Acesso em: 24 jan. 2022.

CURI, A. **Lavra de minas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

ADONES, R. F. **Métodos de Lavra a céu aberto**, Universidade Federal do Pará, 2019. Disponível em: https://aedmoodle.ufpa.br/pluginfile.php/371024/mod_resource/content/1/M%C3%A9todos%20de%20Lavra%20a%20C%C3%A9u%20Aberto.pdf. Acesso em: 12 ago. 2021.

COSTA, F. P. **Aplicações de técnicas de otimização a problemas de planejamento operacional de lavra em minas a céu aberto**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral Ouro Preto, 2005.

ARAÚJO, F. C. R. **Planejamento operacional de lavra com alocação dinâmica de caminhões: abordagens exata e heurística**. 2008. - Curso de Engenharia de Mineral, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2008. Disponível em: <https://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/2660>. Acesso em: 12 ago. 2021.

BARBOSA, E. P. **Despacho de caminhões em mineração usando lógica nebulosa, visando ao atendimento simultâneo de políticas excludentes**. 2007. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/AMCN-8A9HGU/1/eduardo_barbosa_pinto_dissertacao_final.pdf>. Acesso em: 12 ago. 2021.

MONQUEIRO, J. C. B.. **Entendendo os sistemas embarcados**. 2007. Disponível em: <<https://www.hardware.com.br/artigos/entendendo-sistemas-embarcados/>>Acesso em: 28 ago. 2021.

MAXFIELD, M. **Just What Is an Embedded System?** . 2014. Disponível em: <<https://www.eetimes.com/just-what-is-an-embedded-system/>> Acesso em: 28 ago. 2021.

PATTERSON, D. A.; HENNESSY, J. L. **Computer Organization and Design: The Hardware/Software Interface**, 5ª ed. 2013. Disponível em: <<https://ict.iitk.ac.in/wp-content/uploads/CS422-Computer-Architecture-ComputerOrganizationAndDesign5thEdition2014.pdf>> Acesso em: 28 ago. 2021.

CHASE, O. **Sistemas Embarcados**. 2007. Sbjovem.org. Disponível em: <www.lyfreitas.com.br/ant/pdf/Embarcados.pdf> Acesso em: 28 ago. 2021.

Frohlich, A, A. **Sistemas Automotivos Embarcados**. 2008. Universidade Federal de São Carlos. Disponível em: <https://lish.ufsc.br/teaching/os/ine5412-2008-2/work/auto.pdf> Acesso em: 28 ago. 2021.

Wunderlich A. J. **Focusing on the Blurry Distinction between Microprocessors and Microcontrollers**. Elizabethtown College and Purdue University. 1999. Disponível em: <http://users.etown.edu/w/wunderjt/ITALY_2009/PUBLICATION_ASEEPAPetown2.pdf> Acesso em: 30 ago. 2021

Mattos, A. M. **Telemetria e conceitos relacionados**. São José dos Campos – SP. 2004.

Cota E.; Torre, M. P; Ferreira, J. A. T.; Fidêncio, A. X.; Rodrigues, G. B.; Rocha, F. A. S.; Azpúrua, H.; Freitas, G. M.; Miola, W. **ROBÓTICA NA MINERAÇÃO** , p. 359-370. In: *18º Simpósio de Mineração*, São Paulo, 2017.

BARR, Michael; MASSA, Anthony. **Programming embedded systems in C and C++**. O'Reilly Media, Inc., 2. ed. 2006.

THORNTON, S. **Microcontrollers vs. Microprocessors: What's the difference?**. Disponível em: www.microcontrollertips.com/microcontrollers-vs-microprocessors-whats-difference/ Acesso em 01 set. 2021

HAYKIN, S.; MOHER, M. **Sistemas Modernos de Comunicações Wireless**. p. 470-475. Bookman. 2008.

TANENBAUM, Andrew S.. **Rede de computadores**. 4. ed. Amsterdam: Campus, 2003.

BRETTEL, M., FRIEDERICHSEN, N., KELLER, M., et al.. “**How Virtualization, Decentralization and Network Building Change the Manufacturing Landscape: An Industry 4.0 Perspective**”, International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering, 2014.

MORAES A. F. **Redes sem fio: Instalação, Configuração e Segurança - Fundamentos**. p. 17-23. São Paulo: Érica. 2010.

Agencia Nacional de Telecomunicações. **ANATEL Resolução nº 726, 05 de maio de 2020**. Disponível em:

<<https://informacoes.anatel.gov.br/legislacao/resolucoes/2020/1411-resolucao-726#art2>>. Acesso em 14 jan. 2022

CICIORA, W. FARMER, J. LARGE, D. ADAMS, M. **MODERN TELEVISION TECHNOLOGY** , p. 975-976. Morgan Kaufmann Publishers. 2^a ed. 2004.

LATHI, B. P. DING, Z. **Sistemas de Comunicações Analógicas e Digitais Modernos**. p. 26-30. Livros Técnicos e Científicos Editora. 4^a ed. 2009.

Rappaport, T, S. **Comunicações sem fio**. P 311-327 Pearson Education do Brasil. 2^a ed. 2008.

Balanis, A. C., **Antenna Theory - Analysis and Design**, p. 61-62. Canada: John Wiley & Sons, 4^a ed, 2016.

Wetzker, U. Splitt, I. Zimmerling, M. Boano, C. Romer, K. **Troubleshooting Wireless Coexistence Problems in the Industrial Internet of Things**. 14th IEEE/IFIP International Conference on Embedded and Ubiquitous. Paris, França. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/316674860_Troubleshooting_Wireless_Coexistence_Problems_in_the_Industrial_Internet_of_Things Acesso em: 19/01/2022.

Ubiquiti Networks, AirMax Sector. Disponível em: https://dl.ubnt.com/datasheets/airmaxsector/airMAX_Sector_Antennas_DS.pdf Acesso em 19/01/2022

Ubiquiti Networks, AirMax Omni. Disponível em: https://dl.ubnt.com/datasheets/airmaxomni/amo_ds_web.pdf. Acesso em 19/01/2022

WEBRADAR. Disponível em: <http://webradar.com/verticais/automotivo/> Acesso em 01 set. 2021



Emitido em 14/02/2022

CÓPIA DO TRABALHO Nº 17/2022 - DELMAX (11.57.05)

(Nº do Protocolo: NÃO PROTOCOLADO)

(Assinado digitalmente em 17/02/2022 17:39)

FREDERICO DUARTE FAGUNDES
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO
DELMAX (11.57.05)
Matrícula: 1107165

Para verificar a autenticidade deste documento entre em <https://sig.cefetmg.br/documentos/> informando seu número:
17, ano: **2022**, tipo: **CÓPIA DO TRABALHO**, data de emissão: **17/02/2022** e o código de verificação: **c0b104d65a**