



Associação Propagadora Esdeva  
Centro de Ensino Superior de Juiz de Fora – CES/JF  
Curso de Engenharia Elétrica  
Trabalho de Conclusão de Curso – Artigo

---

## **Ampliação da área de cobertura por rádio digital do 4º Batalhão de Bombeiros Militar no município de Juiz de Fora/MG<sup>1</sup>**

*ANDRADE, Silvane Priscila Adonay Martins<sup>2</sup>*  
*Centro de Ensino Superior de Juiz de Fora – CES/JF*  
*COSTA, Luís Guilherme da Silva<sup>3</sup>*  
*Centro de Ensino Superior de Juiz de Fora – CES/JF*

### **RESUMO**

O presente estudo tem o objetivo de realizar uma análise de viabilidade para ampliação da área de cobertura de um sistema rádio troncalizado da corporação dos Bombeiros na localidade de Juiz de Fora via software Radio Mobile. Com o auxílio do software, analisou-se a partir das especificações técnicas dos equipamentos, um estudo de caso na região urbana do município. Os resultados são analisados e as limitações recomendadas nas aplicações. Ainda com o suporte bibliográfico de normatizações e trabalhos da área de telecomunicações, propor uma forma de diminuir os efeitos que causam a atenuação do sinal e ampliar a área de cobertura do rádio. Neste sentido, o melhor resultado proporcionado pelo software foi através da reestruturação e implementação de um Sistema *Trunking* devido às características do enlace e de compatibilidade. Alcançado, por esta forma, o intento a que este trabalho se propõe, sabendo da complexidade intrínseca do serviço que presta o Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais à sociedade mineira, pretende-se propiciar às equipes em campo a comunicação contínua e ininterrupta de modo a garantir a segurança dos envolvidos e o apoio que for necessário para solucionar cada situação de resgate, salvamento ou socorro para a qual forem solicitados.

**Palavras-chave:** Dados. Sistema. *Trunking*. Telecomunicações. Radiocomunicação. Digital.

### **1 INTRODUÇÃO**

O Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Minas Gerais (CBMMG) tem como visão institucional atingir a excelência na qualidade dos serviços prestados à sociedade mineira (CBMMG, 2019). Esse alcance é consolidado de forma contínua, motivo que requer movimento e flexibilidade na dinâmica aplicada a cada ação procedida na execução do serviço em campo.

---

<sup>1</sup> Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Ensino Superior de Juiz de Fora, como requisito parcial para a conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica.

<sup>2</sup> Graduanda em Engenharia Elétrica pelo Centro de Ensino Superior de Juiz de Fora.

<sup>3</sup> Professor do curso de Engenharia Elétrica do Centro de Ensino Superior de Juiz de Fora.

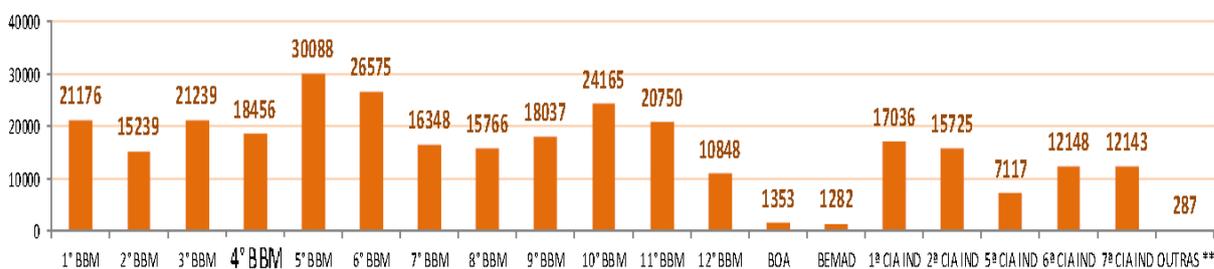
A partir do que conferem as naturezas tipificadas na Diretriz Integrada de Ações Operacionais (DIAO, 2019), percebe-se que os serviços oferecidos pelo CBMMG são diversos. Destes, importa ressaltar as ações de Defesa Civil, prevenção e combate a incêndio e pânico, busca e salvamento, atendimentos pré-hospitalares, dentre outras demandas em apoio a outros órgãos públicos ou relativos à segurança de pessoas e preservação de bens.

Juiz de Fora é um município que está inserido na área de atuação do 4º Batalhão de Bombeiros Militar (4º BBM), unidade pertencente ao 3º Comando Operacional de Bombeiros (CBMMG, 2019). As chamadas de urgência e emergência em toda sua extensão são direcionadas pelas operadoras de telefonia para o Centro Integrado de Atendimento e Despacho (CIAD) através do tridígito 193, a porta de entrada da instituição.

Num segundo momento, a comunicação entre o CIAD e as equipes em campo quando em atendimento de uma urgência ou emergência se dá por meio de comunicação rádio digital (PDTIC, 2017), motivo pelo qual o foco deste estudo será direcionado para o sistema de comunicação entre a equipe e o CIAD.

O CBMMG tem outras unidades de atendimento, porém, para esta análise foram importantes as informações atinentes ao 4º BBM especificamente. Nesta perspectiva, de acordo com o relatório estatístico do Centro Integrado de Informações de Defesa Social (CINDS/EMBM-2, 2019), de janeiro a outubro de 2019, o 4º BBM atendeu 18.456 ocorrências. Representado na Figura 1, é possível constatar que o 4º BBM é a sétima unidade mais demandada do CBMMG.

**Figura 1**– Distribuição das Ocorrências por Unidade Bombeiro Militar



Fonte: CINDS/EMBM-2

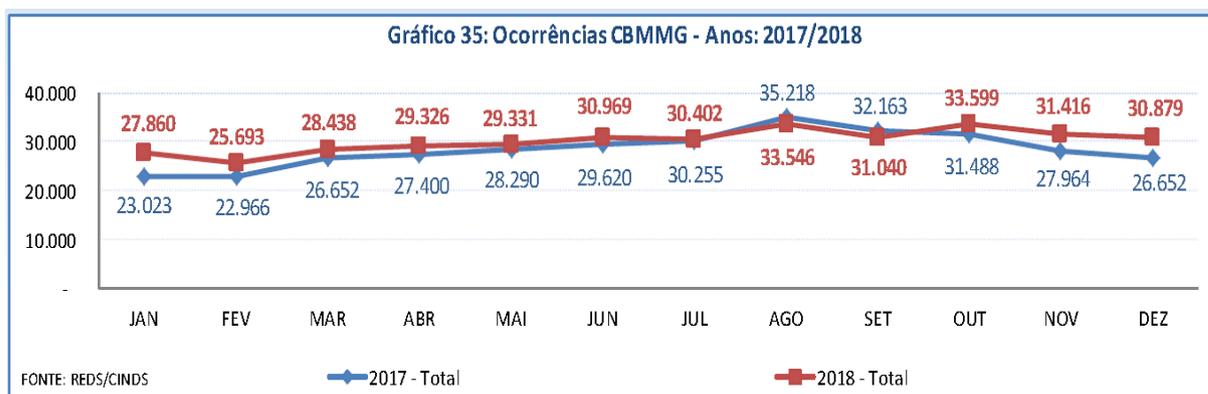
A fim de evidenciar fatores que podem ser de relevância para a necessidade da melhoria do sistema de comunicação entre as equipes que atuam em campo e o

CIAD, percebe-se na Figura 1 que o 4º BBM utiliza de forma considerável o sistema de comunicação.

Quanto ao quantitativo geral de atendimentos do CBMMG, um outro aspecto observado se trata do aumento das ocorrências a cada ano. Na Figura 2, à exceção dos meses de agosto e setembro, todos os demais meses apresentaram índices maiores de atendimento no ano de 2018 em relação ao ano de 2017.

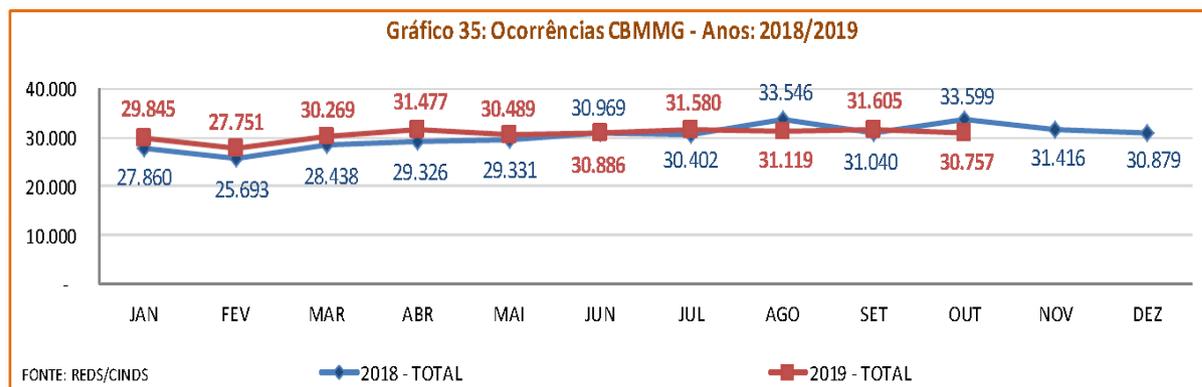
Na Figura 3, à exceção de agosto e outubro, os demais oito meses passados de 2019 também apresentaram aumento no número de atendimentos. Dessa forma, quando comparado o quantitativo geral de atendimentos do CBMMG entre os anos de 2017, 2018 e 2019, a tendência em média é crescente.

**Figura 2–** Comparativo estatístico 2017/2018



Fonte: CINDS/EMBM-2

**Figura 3–** Comparativo estatístico 2018/2019



Fonte: CINDS/EMBM-2

Nesta perspectiva, a hipótese é a de que qualquer falha de componentes que porventura ocasionarem a falta de comunicação entre a central e as equipes em

campo, dependendo da complexidade da ocorrência e do apoio que estas vierem a carecer, proporciona um potencial negativo importante.

Melhorar a comunicação e ampliar a área de cobertura significa comunicação contínua com as equipes operacionais de campo (PDTIC, 2017). Em atenção às demandas e complexidades das ocorrências intrínsecas ao risco compreendido, o desenvolvimento das ações dessa natureza visam garantir a segurança dos envolvidos, bem como da população que do serviço necessita.

A partir do chamado, observadas as Instruções Técnicas Operacionais (ITO) protocolares (CBMMG, 2019), o desígnio e acompanhamento das ações são realizadas por meio de comunicadores digitais móveis, portáteis e fixos, sendo, por sua função, a ponte para execução do serviço que presta.

Dessa forma tem-se a cobertura da transmissão do sistema rádio enlace, o mapa topográfico da região e a identificação dos locais de sombra, que se referem àqueles locais que sofrem com a topologia do ambiente e não conseguem realizar uma comunicação de dados com a central (MEDEIROS, 2007).

Em contrapartida à área de extensão e projeção deste sinal são fatores diretamente relacionados à necessidade de se estudar o comportamento das ondas e receptividade na forma como está instalada, bem como sua disponibilidade em locais estratégicos.

Nesta situação, com a perspectiva em reutilizar o sistema existente, propõe a inserção de outras Estações Rádio Base (ERB<sup>4</sup>) digitais, analisar o modelo de propagação simulado em programa de computador e avaliar seu desempenho de maneira qualitativa comparando com a rede existente.

O município de Juiz de Fora, onde se localiza o 4º BBM, de acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2019), se encontra entre quatro grandes capitais do país (Belo Horizonte/MG; São Paulo/SP; Rio de Janeiro/RJ e Vitória/ES).

Segundo as informações constadas no relatório do CINDS/EMBM-2 (2019), o 4º BBM atende a ocorrências envolvendo produtos perigosos, acidentes e incêndios o que instala a necessidade de um estudo e análise da viabilidade para implantação de um sistema de comunicação mais eficiente.

---

<sup>4</sup> Sistema de comunicação sem fio, wireless, constituído de rádios móveis, terminais dos usuários, conhecidos por telefones celulares e ERBs, estações rádio base, fixas, (MEDEIROS, 2007).

Para implantação de tais sistemas de comunicação a predição é uma prática muito adotada para estimar a potência de recepção de um campo eletromagnético em um receptor. Software como o Radio Mobile (RM), desenvolvido por Roger Coudé (COUDÉ, 2019), simula uma área de cobertura no ambiente de interesse baseado no modelo ITS *Longley-Rice*. Em seguida, a atenuação da intensidade do sinal recebido é calculada, de acordo com o modelo de predição adotado, para estimar a potência de recepção em cada receptor. Portanto, pode-se estimar o ambiente quanto ao nível de sinal de determinadas áreas e regiões de sombra.

Neste estudo, o RM foi utilizado para estudar a viabilidade de sistemas de radiofrequência para comunicação de voz e dados levando-se em consideração a topografia da região e as especificações dos equipamentos de comunicação como modelos das antenas, potência de transmissão, sensibilidade da potência de recepção, comprimento do cabo de radiofrequência (RF) entre o equipamento rádio e a antena (COUDÉ, 2019).

Alguns pontos requerem maior atenção quando utilizados na predição, como a topografia do terreno, frequência de operação e a altitude, pois são diferentes para cada localidade, caracterizando assim um fator de atenuação diferenciado motivo pelo qual se opta por utilizar este software para modelar o sistema de rádio proposto obtendo um cálculo de desempenho de um sistema rádio enlace (MEDEIROS, 2007).

Por meio de legenda de cores no RM, identificou-se a potência de recepção máxima e a mínima em dBm, bem como os locais onde o sinal é muito atenuado. Neste quesito, o melhor desempenho na simulação do RM foi alcançado através do Sistema *Trunking*.

O software permite que mapas de elevação sejam desenhados para áreas especificadas usando o SRTM (*Space Shuttle Radar Terrain Mapping Mission*), um banco de dados da NASA (National Aeronautics and Space Administration) disponibilizado, gratuitamente, em meio digital no endereço de STRM (2019).

De acordo com o Plano Diretor de Tecnologia da Informação e Comunicação do Estado de Minas Gerais (PDTIC, 2017), o Sistema *Trunking* adota um modelo de administração de espectro de radiofrequências em função da demanda por canais de comunicação, ou seja, é capaz de distribuir de forma automática uma pequena quantidade de canais de radiofrequência entre um grande número de usuários.

Assim, a comunicação digital pode ser otimizada permitindo uma gestão mais eficiente dos canais de comunicação no meio de transmissão.

O Sistema de Comunicação por radiofrequência do 4º BBM é do tipo ponto-área. Pela definição de Medeiros (2007), isto quer dizer que a ERB viabiliza a comunicação de dados para toda uma região no seu entorno por meio do uso de antena, neste caso, antena omnidirecional.

Para garantir que este sistema esteja em condições de atingir sua finalidade, deve-se atender ao disposto pela recomendação ITU-R P.1546-5 (ITU, 2016), sobre o método para previsões ponto-área em serviços terrestres na faixa de frequência de 30 MHz a 3 GHz. A diretriz relaciona as curvas de intensidade de campo eletromagnético com a distância da ERB para o receptor, estação veicular móvel ou fixa do Corpo de Bombeiros, levando em consideração outros fatores importantes como, por exemplo, as condições morfológicas do terreno.

## **2 METODOLOGIA**

A partir da formulação do problema de predição de cobertura do nível de intensidade de sinal, os estudos foram realizados através de várias simulações onde procurou-se fazer com que o sinal recebido ficasse acima da sensibilidade mínima de recepção. Portanto, desconsiderando-se a perda por difração, os mapas de cobertura expresso por meio da potência recebida ponto-a-ponto para os modelos de espaço livre foram obtidos através de simulações pelo software RM.

O desempenho da área de cobertura por radiofrequência foi especificado a partir da potência transmitida pelo equipamento rádio digital, ganho das antenas e sensibilidade da potência de recepção. Os links de rádio entre as diferentes estações rádio base e entre a ERB e a estação veicular móvel do Corpo de Bombeiros podem ser examinados quanto ao perfil do caminho do rádio enlace e dos parâmetros do sinal recebido obtidos na área de cobertura.

O trabalho seguirá a linha de pesquisa na área de Telecomunicações, que contempla, a partir do projeto proposto, a implantação, manutenção e controle de redes de sistemas de comunicações, com enfoque na propagação por ondas eletromagnéticas de rádio. De forma geral, consistirá em analisar a potência de sinais de RF recebidos em dispositivos móveis do Corpo de Bombeiros visando à ampliação da área de cobertura através de simulação pelo software RM.

## 2.1 O PROBLEMA

A área que compete à responsabilidade do município de Juiz de Fora, de acordo com Ab'Sáber (2003), tem características geomorfológicas típicas inseridas no domínio dos mares de morros. A partir desta condição, observa-se que as modificações realizadas de forma contínua no meio têm sido um fator de interferência e influência nas ondas de rádio (JÚNIOR *et al*, 2003).

De outra forma, pela área de cobertura a que pode chegar à transmissão entre os rádios móveis, portáteis ou fixos com a repetidora, se infere que devido à condição geomorfológica do terreno e outros fatores de atenuação, o sistema de comunicação por radiofrequência do 4º BBM não cobre efetivamente toda a área pretendida.

Em Juiz de Fora, a arquitetura de rede de radiocomunicação do 4º BBM é baseada na tecnologia do Sistema Rádio Móvel Digital Convencional (DMR) (PDTIC, 2017) que será simulado pelo software RM, (COUDÉ, 2019). A proposta aponta para um novo modelo de comunicação a partir da inserção de outras ERBs em modelo de Sistema *Trunking* com a intenção de aumentar a área de cobertura além de promover maior quantidade de canais de comunicação.

## 2.2 A APLICAÇÃO

A falha de comunicação<sup>5</sup> entre as equipes de atendimento e a Central de Urgência e Emergência é um potencial negativo agravado pela hipótese de que a falta de apoio que vierem a carecer em campo poderá colocar em risco a vida dos membros da guarnição e de pessoas durante o atendimento.

Com a utilização do software RM, do *Google Earth*, e do *topographic-map*, ferramentas livres para acesso e utilização na internet nos endereços: <http://ve2dbe.com/>; <https://www.google.com.br/intl/pt-BR/earth/>; <https://pt-br.topographic-map.com/?page=1>, respectivamente, foi possível simular a propagação do sinal no município de Juiz de Fora. Inserir diferentes sistemas de ponto-área e ponto-a-ponto e modificar suas especificações de forma a melhor atender o objeto de estudo.

---

<sup>5</sup> A exemplo mais recente do rompimento da barragem de rejeitos da empresa Vale em Brumadinho/MG (25 de janeiro de 2019), constata-se que a falha relacionada à comunicação de uma central com as equipes em campo interfere no atendimento da ocorrência “devido à ausência de energia elétrica, sinal de telefonia e internet, que dificultam a localização exata das vítimas”. Comunicado CBMMG via rede social em 26 de janeiro de 2019 (R7, 2019).

No caso do sistema ponto-a-ponto, Silva (2004) define quando os receptores estão fixos e a trajetória da energia se faz ao longo do perfil traçado entre o transmissor e receptor, ou seja, trata-se da cobertura utilizando dois pontos diretamente.

A finalidade é propor um modelo para adequação do sistema que melhore o atual e amplie sua área de cobertura partindo-se do pressuposto de que seu modelo proporcionará a minimização do problema e a evidenciação da preocupação de se evitar a probabilidade de ocorrências originadas da hipótese.

### **3 ESTUDO DE CASO**

Em redes wireless, que é o foco do presente estudo, os problemas encontrados estão associados às variações da frequência de comunicação, obstáculos, agentes refletoras, entre outros, são fatores degradantes conhecidos como desvanecimento ou *fading*.

De acordo com Medeiros (2007), os problemas apontam a diferença de frequência durante a propagação ou ondas secundárias devido à reflexão no solo, elevação de terreno, estruturas verticais, veículos e obstáculos fixos e móveis.

Neste quesito, há para citar a influência de emissões espúrias tratadas no Ato nº 944/18 da Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) e definidas como sendo as frequências fora da faixa necessária como harmônicas ou produtos de intermodulação e excluídas as emissões na vizinhança imediata da faixa necessária resultantes do processo de modulação para emissão da informação.

A situação é que a antena receptora recebe sinais que sofrem com os efeitos do desvanecimento (MEDEIROS, 2007). De forma geral, se deve ao tipo de ambiente em que se está e se caracteriza pela influência das ondas de multipercurso. Neste sentido, o software escolhido permitirá a visualização no ambiente geográfico através da predição de potência do sinal recebido.

Sob um propósito maior direcionado para a segurança das equipes em campo, observa-se que, quanto a hipótese de ocorrências de um acidente ou incidente, não há dados estatísticos para situações que culminaram com seu agravamento devido à falta de comunicação entre as equipes de campo e a central de acionamento.

De fato, a cultura prevencionista é algo relativamente novo no país, de acordo com Casarim (2016), evidenciada sua importância a partir de 1999 por publicações de conteúdos responsáveis pelo que hoje é conhecido como ações voltadas às Políticas Públicas de Proteção e Defesa Civil.

Provocando órgãos de urgência e emergência para interligação de diferentes setores, estabeleceu-se o que estas agências denominam como sendo o Comando Unificado para atendimento a ocorrências, dentro de um Sistema de Comando de Operações (SCO<sup>6</sup>) capaz de potencializar a resposta a um sinistro (GTO, 2019), situação maximizada do estudo proposto, mas que de forma sintética aponta para ações que visualizam possibilidades de ocorrências a partir de uma situação de origem e, nesta perspectiva, o propósito maior deste trabalho.

Apesar de não existir um dado compilado das consequências que se pode ter a falta de comunicação das equipes de campo com a central, para cada grande ocorrência atendida, existe na Corporação trabalhos de estudos de caso em específico, que têm por finalidade entender como se deu e de que forma o atendimento poderia ter sido otimizado, padronizar ações visualizada a possibilidade de reincidência, além de definir o aperfeiçoamento em novas e diferentes ações. Condição que pode ser constatada no estudo de caso do rompimento da barragem da Samarco realizado pelo CBMMG.

Neste sentido, foi cedido para fins de conhecimento o estudo de caso sobre o rompimento de barragem no subdistrito de Bento Rodrigues em Mariana/MG em 2015. Dentre vários apontamentos, constatou-se a precariedade da comunicação entre as equipes durante as primeiras intervenções e, na melhor das condições, foi possível promover o contato a partir de comunicadores de rádio da polícia militar ou comunicadores pessoais, uma vez que não havia cobertura para enlace de rádio dos equipamentos do CBMMG (CBMMG, 2016).

Nessa linha, reincidido o fato em Brumadinho, também em Minas Gerais, em 2019, apesar de uma área menor atingida, tomou proporções catastróficas, e como esperado, a maior dificuldade anunciada nos primeiros dias foi relativa à captação dos dados devido à falta de comunicação da central com as equipes de campo, neste caso, dificultando a localização exata das vítimas (R7, 2019).

---

<sup>6</sup> Pode ser conceituado como uma ferramenta gerencial (modelo), de concepção sistêmica e contingencial, que padroniza as ações de resposta de situações críticas de qualquer natureza ou tamanho. Permite a adoção uma estrutura organizacional integrada para enfrentar as demandas e complexidades de uma situação crítica, (GTO, 2019).

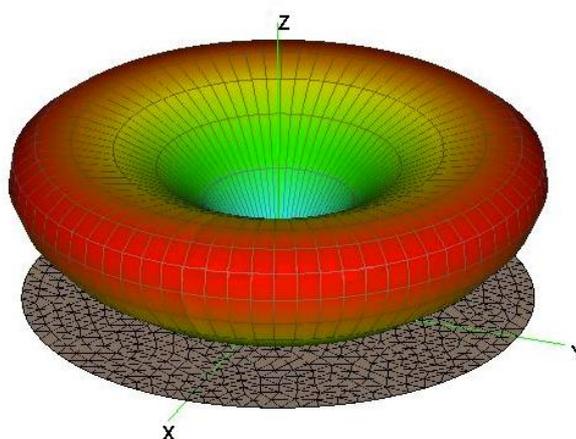
Do problema observado, no que se refere a atenuação de sinal do Sistema de Comunicação do 4º BBM apresentado em escala de cores pelo RM e considerando ainda a possível falha do enlace em determinados pontos da cidade, o estudo proporcionou analisar a viabilidade para melhoria deste sistema em atenção à probabilidade de um sinistro nesta área.

### 3.1 CARACTERÍSTICAS DA REDE DE COMUNICAÇÃO DO 4º BBM

A ERB do 4º BBM localizada no bairro São Benedito em Juiz de Fora e referenciada como ERB1, possui uma antena que é utilizada para comunicação entre as equipes de campo e o CIAD. Esta antena é do tipo monopólo vertical com plano terra, padrão de irradiação omnidirecional de alta eficiência com 5,15 dBi de ganho.

Sobre a disposição característica, observa-se que a projeção horizontal é de 360°, enquanto que na projeção vertical, apresentada em lóbulos, há ausência de irradiação no prolongamento do eixo z da antena como mostrado na Figura 4.

**Figura 4** – Projeção do sinal característico de antena monopolar



Fonte: antenna-theory.com

Com intuito comparativo, considerando a ERB1 como referência, foi estabelecida uma ou mais estações rádio base, determinando um sistema de transmissão nominado ponto-a-ponto. As ERBs foram inseridas no programa em coordenadas onde, de acordo com os dados disponibilizados pelo CBMMG no Sistema Eletrônico de Informações (SEI, 2019), já existe uma estrutura comunicação, o que torna o enlace real e efetivo na prática.

Na situação ponto-a-ponto, as estações comunicam-se entre si por meio de antenas diretivas em linha de visada. Na frequência de trabalho (150 MHz), entretanto, nem sempre a linha de visada precisa estar desobstruída, bastando garantir uma boa potência de recepção, o que às vezes se consegue com o enlace obstruindo parte do primeiro elipsóide da zona de Fresnel (VASCONCELOS, 2017).

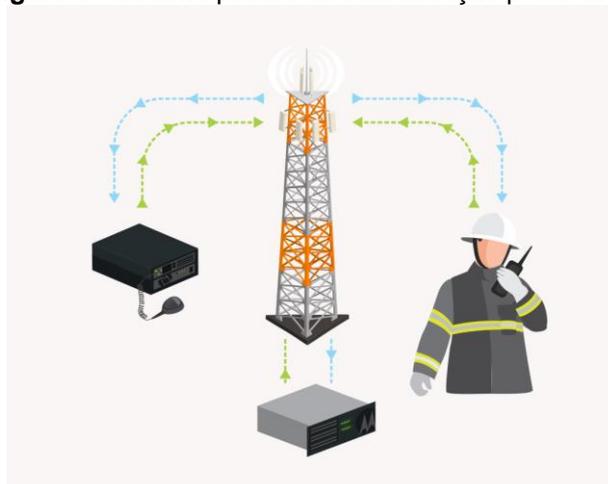
A zona de Fresnel tem importante papel na topologia da rede, de acordo com Garcia *et al* (2008), trata-se de elipsóides concêntricos que definem volumes do padrão de radiação entre dois pontos de transmissão e recepção. Podendo ser livre, total ou parcialmente bloqueado dependendo na taxa de obstrução da zona de Fresnel, esta condição tem especial relação com os efeitos do desvanecimento e ondas de multipercurso (GARCIA *et al*, 2008).

### 3.2 ESTRUTURA E ENLACE DO SISTEMA DE COMUNICAÇÃO DO 4º BBM

A estrutura de comunicação do CIAD com as equipes em campo se dá por meio de rádios digitais portáteis, móveis ou fixos que operam na faixa de frequência de 149,19 MHz a 153,79 MHz, medida em campo com a utilização de um analisador de espectro e que está em conformidade com a Resolução 674, de 13 de fevereiro de 2017 ANATEL. Para que todos os equipamentos transmitam e recebam o sinal, estão programados na faixa pré-definida e ligados através da repetidora instalada no bairro São Benedito em Juiz de Fora.

Para evitar os efeitos do desvanecimento e uma melhor recepção do sinal, a estação rádio base foi projetada em uma estação compartilhada com a Polícia Militar instalada a 930 m de altitude.

**Figura 5**– Sistema prático da comunicação ponto-área



Fonte: Arquivo pessoal

A Figura 5 representa a rede que forma o Sistema de Comunicação do 4º BBM. Com a representação dos rádios móveis ou fixos à esquerda e dos rádios portáteis à direita, o enlace é garantido por intermédio da função da repetidora que recebe e retransmite o sinal através da antena.

A repetidora, de acordo com o manual do fabricante, trabalha no modo digital de acesso múltiplo por divisão de tempo (TDMA) garantindo a bidirecionalidade dos rádios, o que quer dizer que suporta duas vias de voz e dados simultaneamente. Tem como função estabelecer uma rede confiável capaz de interligar rádios móveis e portáteis e assim proporcionar a comunicação em rede conhecida.

O *Google Earth* apresenta um modelo tridimensional do globo terrestre, motivo que o tornou uma ferramenta secundária utilizada em conjunto com o software RM, para localização de áreas estratégicas. No município de Juiz de Fora, além das ERBs, foram parametrizadas a localização da Sede do 4º BBM, do Posto Avançado Sul (PA Sul), do Pelotão de Emergências Ambientais e Resposta a Desastres (PEMAD) e do CIAD citado anteriormente.

No software RM foram cadastrados todos os equipamentos que compõem a rede do sistema de comunicação e, em cada um deles, informações específicas como a potência de transmissão, a sensibilidade para recepção mínima do sinal, o modelo e ganho da antena, a altura e as perdas adicionais nos conectores dos cabos coaxiais na antena e no transmissor/receptor do rádio digital, constadas de acordo com o manual dos equipamentos encontrados no endereço de acesso virtual do fabricante e afins.

Na análise de viabilidade do link foi utilizado o valor máximo da potência de transmissão obtidos através do manual do fabricante do rádio, isto porque no limite deste cenário propicia a recepção dos dados no limiar de operação sendo a informação recebida de forma efetiva pelo receptor (MEDEIROS, 2007). Assim, o nível de sensibilidade do equipamento foi o menor encontrado, representando a garantia de funcionar com a mínima taxa de transferência.

### 3.3 ÁREA DE COBERTURA POR NÍVEL DE POTÊNCIA RECEBIDA

Para garantir que os equipamentos sejam utilizados no nível máximo de sua predição, há necessidade de se entender de que forma e como se distribuem as áreas de sombra no município.

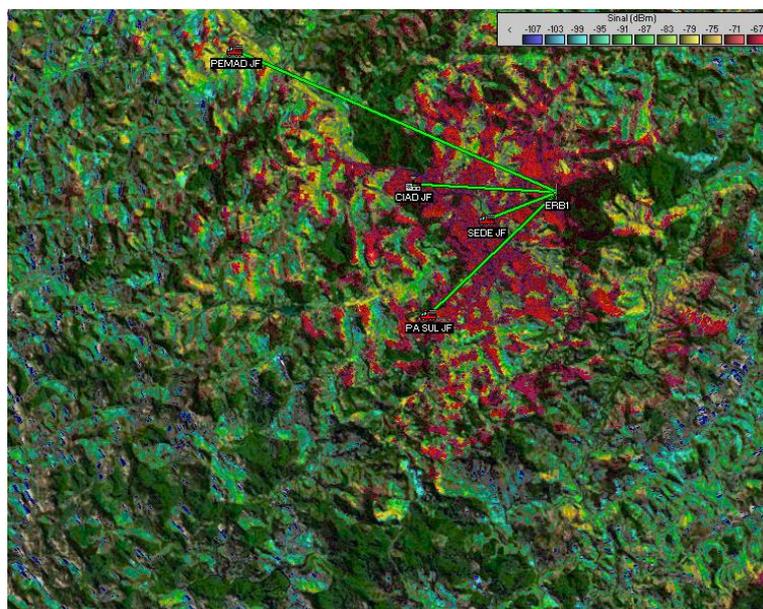
Isto é necessário porque, entre os pontos lançados de envio e recepção do sinal, a potência que é emitida em todas as direções, não alcança as áreas de vale ou de perdas acentuadas das ondas por multipercurso, característica possível de verificar por meio de cálculos de simulação de perdas.

A perda do sinal ou atenuação pode ser visualizada em um mapa através da função de cobertura polar disponibilizada pelo software RM. Por meio de legenda de cores onde as cores com maior frequência espectral como a vermelha, representam o mínimo de perdas e aquelas com menor frequência espectral, como a azul, o máximo de perdas sendo o limiar de operação.

O RM tem a capacidade de verificar todas as especificações que definem o sistema associado a cada ERB ou estação repetidora instalada de forma que a projeção do sinal demonstre o perfil do enlace entre todos os membros que compõem a rede. Neste sentido, a projeção do sinal entre a antena da ERB1 e cada uma das estações repetidoras do PEMAD, PA Sul, Sede e CIAD é o mesmo, diferindo-se no cálculo das representações e do perfil altimétrico.

A Figura 6 representa a simulação da propagação do sinal entre a antena omnidirecional da torre instalada no bairro São Benedito (ERB1) e as antenas dipolo representadas através dos rádios móveis, portáteis ou fixos utilizados pelo Corpo de Bombeiros na cidade. A legenda da potência do sinal recebido, em dBm, é dada pela escala de cores representada no topo da figura.

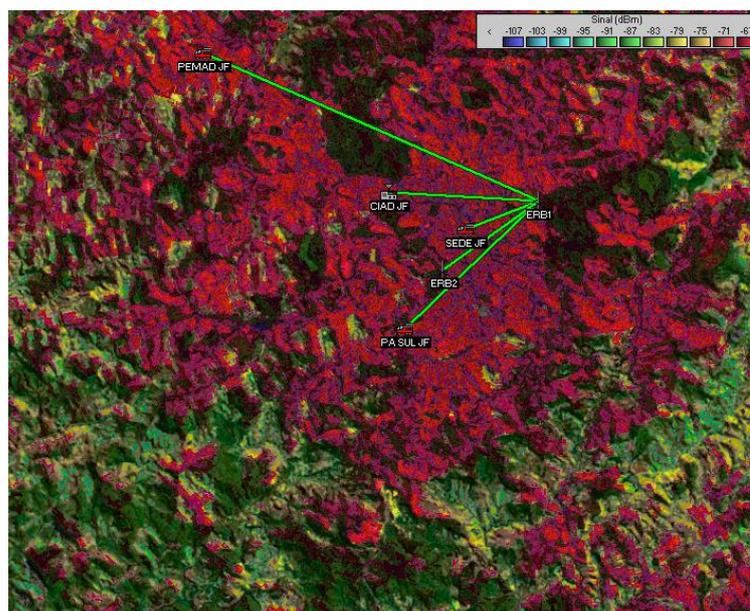
**Figura 6**– Modelo de propagação real do sinal do Sistema de Comunicação do 4º BBM



Fonte: Simulação Rádio Mobile

A Figura 7 representa a simulação da propagação do sinal quando é inserida no enlace uma segunda ERB com antena omnidirecional (ERB2). Observa-se que, neste sistema, além de ampliar a área de cobertura, diminui significativamente a perda por atenuação. A predominância da cor vermelha nessa figura mostra que a potência do sinal recebido aumentou, e conseqüentemente a área de cobertura do sistema de comunicações.

**Figura 7**– Modelo de propagação esperado do sinal com a inserção de outra ERB



Fonte: Simulação Rádio Mobile

Através da simulação, percebe-se que a criação de outras ERBs, satisfazendo um sistema ponto-a-ponto *trunking*, gera aumento instantâneo da propagação do sinal, demonstrando ser uma forma plausível de se estender a cobertura e amenizar as áreas de sombra.

Para a simulação foi considerado o valor máximo da potência de operação do sistema, equivalente a 45 W do rádio da ERB1, e o ganho da antena de 8,15 dBi. Quanto a repetidora, por sua característica ativa, tem funcionalidade de aumentar o ganho e possibilitar que o sinal se estenda numa área de cobertura.

### 3.4 MODELAGEM DO SINAL NO PLANO TERRA

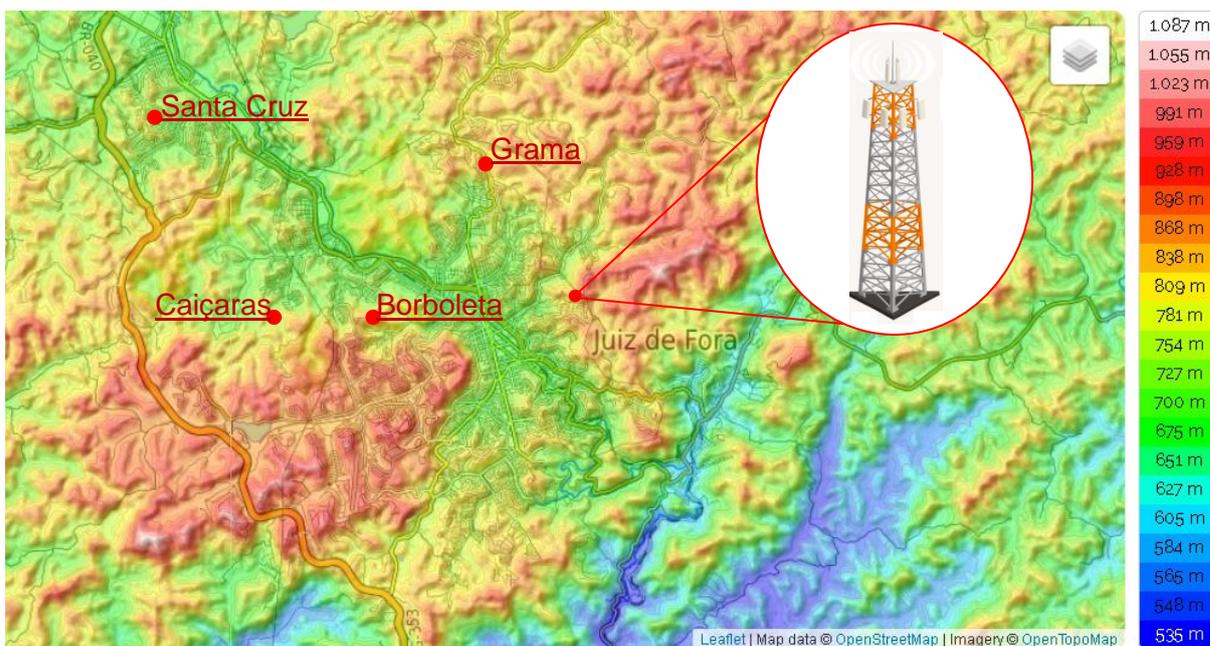
Observada a extensão da área de cobertura entre o transmissor e o receptor do 4º BBM, é possível perceber no mapa topográfico da Figura 8 que, embora a

parte mais densa da cidade permaneça numa altitude média de 658 m, a menos de 10% da distância que a antena localizada na ERB1 consegue alcançar, 50 Km de acordo com o manual do fabricante somando-se o alcance da antena e dos rádios, inicia-se o processo de obstrução da linha de visada devido aos elevados do terreno.

De outra forma, à cerca de 5 Km da ERB1, existem elevações no terreno que alcançam 930m de altitude e são capazes de obstruir a linha de visada da antena por completo.

Plotadas as coordenadas associadas aos rádios móveis, portáteis e fixos do 4º BBM na Figura 6, a perda, ou a distribuição do sinal em dBm por legenda de cores percorre as áreas de declive uniforme a partir da altura da torre de análise, ERB1.

**Figura 8**– Mapa topográfico da cidade de Juiz de Fora com a localização da ERB1



Fonte: topographic-map com adaptação da autora

É preciso considerar que o atendimento das equipes de campo dos bombeiros pode ocorrer em qualquer ponto da cidade. As coordenadas dos rádios, entretanto, foram inseridas em rede nos lugares onde permanecem de forma contínua, sendo estes o PEMAD e PA Sul, a Sede e o CIAD do 4º BBM.

Atendendo a esta perspectiva, na simulação do comportamento de onda em diferentes coordenadas, todos os locais obstruídos na linha de visada como os Bairros Borboleta, Caiçaras ou Grama, e mesmo o Bairro Santa Cruz onde se

localiza o PEMAD, são parcialmente prejudicados.

Observada a distribuição do sinal na Figura 6 e comparando-a com os níveis de altitude na Figura 8, é possível perceber que a atenuação pelos efeitos das ondas de multipercurso e do desvanecimento ocorre nas áreas fora da linha de visada da ERB1, é o caso dos locais representados na Figura 8.

Como o PEMAD está à maior distância e observadas às constatações da modelagem do sinal por inserção de ERB em ponto secundário – uma ERB2 omnidirecional na coordenada do Morro do Cristo, parte central mais alta da cidade– propiciaria a regeneração do sinal da ERB1, bem como a solução para transmissão e recepção das antenas dipolo associadas na linha de visada da ERB2 e fora da visada de ERB1, como mostrado na simulação da cobertura de um sistema *trunking* na Figura 7.

### 3.5 MODELAGEM DO SINAL POR INSERÇÃO DE SISTEMA *TRUNKING*

A Figura 6 demonstra o perfil de propagação do sistema ponto-área atualmente utilizado no 4º BBM. É possível perceber através da escala de atenuação que, nas áreas onde as elevações se aproximam da altura da ERB de referência, o sinal atenua mais rapidamente, isto é, a intensidade comparada à distância, comprova que num raio de 50 km, a transmissão não é efetiva.

A diferença altimétrica da região analisada é característica, sendo assim, o plano ideal seria estabelecer ERB em cada cota aproximada a 930 m. Demandaria custo, equipamentos e manutenção; um projeto considerável, mas necessário para atender a um propósito maior. A consolidar este cenário, foi estabelecida uma segunda ERB, observou-se que na área correspondente ao município de Juiz de Fora, a ERB2 com antena omnidirecional ou dipolo se difere apenas pelo ganho, não sendo constatado de forma importante o impacto no desempenho em escala de atenuação.

Sobre o sistema DMR convencional que caracteriza o atual sistema de comunicação do 4º BBM em comparação ao Sistema *Trunking*, que obteve a melhor resposta na simulação do RM, há para destacar que:

No sistema convencional, cada canal de radiofrequência é alocado de maneira exclusiva para estações digitais definidas. Assim, caso não ocorra a comunicação entre as estações, o canal alocado no espectro de radiofrequência permanece ocioso. O usuário deve selecionar o canal

desejado e em caso de handoff (mudança de repetidora), o usuário deve alterar o canal para o grupo de chamada correto.

No sistema de rede troncalizado, o processo de comunicação por rádio digital é otimizado, permitindo a gestão eficiente dos canais de comunicação no meio de transmissão. Isso ocorre porque o sistema troncalizado adota um modelo de administração de espectro de radiofrequências em função da demanda por canais de comunicação. Nesse sistema, existe uma controladora por site que define a alocação dos recursos conforme as solicitações dos grupos de chamada são realizadas, permitindo também a priorização de um grupo de chamada em detrimento a outros em casos de emergência. (PDTIC, 2017, p. 23-24).

Analisando o custo, importa ressaltar que a maioria dos equipamentos em uso não se perdem, podendo ser aproveitados num sistema *trunking* (PDTIC, 2017).

A inserção de um sistema *trunking* permite que a radiocomunicação entre os usuários seja feita no modo digital de faixa estreita, além de oferecer outras funcionalidades como voz e dados. A possibilidade de melhoria do sistema, entretanto, deve seguir os padrões de fabricantes dos rádios móveis, portáteis e fixos em uso por questões de compatibilidade (SALLES, 2008).

Um sistema melhorado desse tipo permite a integração de sites centrais, cada um apresentando sites de repetição capazes de promover a conexão entre diferentes repetidoras numa mesma rede. Com subsistemas de radiofrequência a consequência esperada é a ampliação da área de cobertura e acesso.

Sendo assim, uma segunda antena com características semelhantes à de controle atual, num sistema que apresenta variadas vantagens como a reutilização da infraestrutura tecnológica, proporciona um efeito que pode ser considerado o resultado do que se espera neste trabalho.

#### **4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Este estudo teve como ponto de partida comprovar de forma efetiva a viabilidade de implantar um sistema que possibilite ampliar a área de cobertura do 4º BBM. Utilizando o Sistema *Trunking* de rede, com o auxílio do software RM, a intenção foi alcançada havendo, para isso, que inserir uma segunda ERB.

Um sistema atuante e otimizado pretende proporcionar segurança das equipes em campo e pessoas que necessitam do serviço dos bombeiros. Acionar de forma mais rápida os órgãos de apoio e promover o que pode ser denominado como a sincronização dos agentes no sistema a partir de uma rede eficiente e diferenciada, com os atributos conferidos através de um Sistema *Trunking*.

Quanto mais rápida for à resposta, mais eficiente é a solução. Seguindo esta premissa e constatado em estudo que há possibilidade de implementar o Sistema de Comunicação do 4º BBM, espera-se que a proposição de uma segunda ERB possa ser o início da atenção à cobertura total da área de abrangência, a otimização do pronto emprego que interliga diferentes atores num atendimento a ocorrência e o maior cuidado com as pessoas envolvidas e as equipes que atuam em campo.

## ABSTRACT

The objective of this study is to carry out a feasibility analysis to expand the coverage area of a trunked radio system of the Fire Department in Juiz de Fora via Radio Mobile software. With the help of the software, it was analyzed from the technical specifications of the equipment, a case study in the urban region of the city. The results are analyzed and the limitations recommended in the applications. Still with the bibliographic support of normatizations and works in the area of telecommunications, propose a way to reduce the effects that cause the attenuation of the signal and expand the area of coverage of the radio. In this sense, the best result provided by the software was through the restructuring and implementation of a Trunking System due to the characteristics of the link and compatibility. Having reached, by this way, the intention to which this work is proposed, knowing the intrinsic complexity of the service provided by the Military Fire Department of Minas Gerais to the society that lives in Minas Gerais, it is intended to provide the teams in the field with continuous and uninterrupted communication in order to ensure the safety of those involved and the support that is necessary to solve each situation of rescue or relief for which they are requested.

Keywords: Data. System. Trunking. Telecommunications. Radio communication. Digital.

## REFERÊNCIAS

AB'SÁBER, Aziz Nacib. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.

ANATEL. Agência Nacional de Telecomunicações. **Requisitos técnicos para avaliação da conformidade de transmissores e transceptores de estações rádio base e de estações repetidoras**. Disponível em: <<https://www.anatel.gov.br/legislacao/es/atos-de-requisitos-tecnicos-de-certificacao/2018/1197-ato-944>> Acesso em: 22 ago. 2019.

ANATEL. Agência Nacional de Telecomunicações. Resolução 674 de 13 de fev. 2017. **Aprova o Regulamento sobre Canalização e Condições de Uso de Radiofrequências na Faixa de 148 MHz a 174 MHz**. Brasil. 2017.

ANTENNA-THEORY.COM. **The monopole antenna**. Disponível em: <<http://www.antenna-theory.com/antennas/monopole.php>> Acesso em: 18 set. 2019.

CASARIM, Alexandre Humia. **Expansão do atendimento operacional do 4º Batalhão de Bombeiros Militar (BBM) através de postos avançados integrados com o SAMU e Defesa Civil municipal estabelecendo uma gestão em rede para mitigação e resposta de acidentes e desastres**. 2016. 143 fl. Fundação João Pinheiro, Belo Horizonte, 2016.

CBMMG. Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais. **Estudo de Caso Rompimento Barragem Mariana/MG**. Belo Horizonte: CBMMG, 2016. 111p.

CBMMG. Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais, 2019. **Institucional e Unidades**. Disponível em <<http://www.bombeiros.mg.gov.br> > Acesso em 30 jun. 2019.

CINDS/EMBM-2. Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais, 2019. **Relatório Estatístico do Centro Integrado de Informações de Defesa social em Belo Horizonte**. Comando Geral em Belo Horizonte.

COUDÉ, Roger. **Radio Mobile Freeware by VE2DBE**. 1988. Disponível em: <<http://www.ve2dbe.com/index.html>> Acesso em 17 mai. 2019.

DIAO. **Diretriz Integrada de Ações Operacionais do Estado de Minas Gerais**. Disponível em : <<https://diao.sids.mg.gov.br/>> Acesso em: 30 jun. 2019.

GARCIA, Anilton Salles; SILVA, Eng. Max Mauro de O. **Uma abordagem sobre QoS e Planejamento de Capacidade de Redes Wimax e sua Aplicação no Contexto da Mobilidade Corporativa**. XXV Simpósio Brasileiro de Telecomunicações, 2008. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/profile/Wilian\\_Hisatugu/publication/304580293\\_Uma\\_abordagem\\_sobre\\_QoS\\_e\\_Planejamento\\_de\\_Capacidade\\_de\\_Redes\\_Wimax\\_e\\_sua\\_Aplicacao\\_no\\_Contexto\\_de\\_Mobilidade\\_orporativa/links/5774018908aead7ba06e5da2/Uma-abordagem-sobre-QoS-e-Planejamento-de-Capacidade-de-Redes-Wimax-e-sua-Aplicacao-no-Contexto-de-Mobilidade-orporativa.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Wilian_Hisatugu/publication/304580293_Uma_abordagem_sobre_QoS_e_Planejamento_de_Capacidade_de_Redes_Wimax_e_sua_Aplicacao_no_Contexto_de_Mobilidade_orporativa/links/5774018908aead7ba06e5da2/Uma-abordagem-sobre-QoS-e-Planejamento-de-Capacidade-de-Redes-Wimax-e-sua-Aplicacao-no-Contexto-de-Mobilidade-orporativa.pdf)> Acesso em: 20 set. 2019.

GTO. Grupo Temático Operacional do Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais. **Sistema de Comando de Operações**. Disponível em: <<http://gto.bombeiros.mg.gov.br/sistema-de-comando-em-operacoes>> Acesso em: 05 de jul. 2019

IBGE – Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística, 2010. **Conheça cidades e estados do Brasil**. 2019. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/>> Acesso em: 02 jul. 2019

ITU, União Internacional de Telecomunicações ITU-T G.652. **Characteristics of a single-mode optical fibre and cable**. 2016. Disponível em: <<https://www.itu.int/itu-t/recommendations/rec.aspx?rec=13076>> Acesso em: 20 jul. 2019.

JÚNIOR, João Rodrigues Tavares; CANDEIAS, Ana Lúcia Bezerra; FRERY, Alejandro César Orgambide. **Modelagem de rádio enlace: uma abordagem usando realidade virtual**. Revista Brasileira de Cartografia. Pernambuco. nº 55/01. Páginas 21 a 28, julho de 2003.

MEDEIROS, Júlio Cesar de O. **Princípios de Telecomunicações**. Teoria e Prática São Paulo: editora Érica Ltda, 2007.

PDTIC. Plano Diretor de Tecnologia da Informação e Comunicação. 2017. 55p.  
**Estudo para digitalização da rede de rádio de segurança pública do Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte. 2017.

PRADO, Adilson de Oliveira; AMARAL, Cristiano Torres do. **Compartilhamento da rede de radiocomunicação troncalizada da polícia militar de minas gerais com os demais órgãos do sistema de defesa social**. 2008. Belo Horizonte: O Alferes, v. 23, n. 63, 2008.

R7. Notícias R7. **Número de desaparecidos em Brumadinho cai para 299 pessoas**. Disponível em: <<https://noticias.r7.com/minas-gerais/numero-de-desaparecidos-em-brumadinho-cai-para-299-pessoas-26012019>> Acesso em: 25 ago. 2019.

SALLES, Ronaldo M. et al. **Novas perspectivas tecnológicas para o emprego das comunicações no Exército Brasileiro**. Revista Militar de Ciência e Tecnologia, v. 25, p. 68-79, 2008.

SEI. Sistema Eletrônico de Informações. Processo nº 1400.01.0049274/2019-47.  
**Relatório Técnico para instalação de Antenas**. Radiocomunicação Digital/CBMMG/4BBM/2019. Juiz de Fora, 2019.

SILVA, Rogério Moreira Lima. **Características da propagação ponto-área na faixa de 2 a 15GHz com aplicação em comunicações móveis**. 2004. Tese de Doutorado. Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia, 2004.

STRM, Space Shuttle Radar Terrain Mapping Mission. **SRTM C-BAND Data Products**. Disponível em: <<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/cbanddataproducs.html>> Acesso em: 21 jun. 2019.

VASCONCELOS, Lorenço Santos. **Comportamento de modelos de cálculo de difração sobre terrenos irregulares nas faixas de VHF e UHF**. 2017. 170 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2016.