

**CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE SANTA CATARINA
UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA**

**CENTRO DE ENSINO BOMBEIRO MILITAR
CENTRO DE CIÊNCIAS DA ADMINISTRAÇÃO E SOCIOECONÔMICAS**

**CURSO DE COMANDO E ESTADO MAIOR: ESPECIALIZAÇÃO EM GESTÃO
PÚBLICA COM ÊNFASE EM ATIVIDADE BOMBEIRIL**

RODRIGO GHISOLFI DA SILVA

**ESTUDO SOBRE A IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE RADIOCOMUNICAÇÃO
DIGITAL NO CBMSC**

**FLORIANÓPOLIS
2019**

Rodrigo Ghisolfi da Silva

Estudo sobre Implantação do Sistema de Radiocomunicação Digital no CBMSC

Monografia apresentada ao Curso de Comando e Estado-Maior e ao Curso de Especialização em Administração em Segurança Pública com ênfase na atividade Bombeiro Militar, do Centro de Ensino Bombeiro Militar (CBMSC) e do Centro de Ciências da Administração e Socioeconômicas (UDESC) como requisito parcial para a obtenção do grau de Especialista em Gestão Pública com Ênfase em Atividade Bombeiril.

Orientador: Julíbio David Ardigo, Dr.

**Florianópolis
2019**

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor com orientações da Biblioteca CBMSC

Silva, Rodrigo Ghisolfi da

Estudo sobre Implantação do Sistema de Radiocomunicação Digital no CBMSC / Rodrigo Ghisolfi da Silva. -- Florianópolis: CEBM, 2019.

69 p.

Monografia (Curso de Comando e Estado Maior) – Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina, Centro de Ensino Bombeiro Militar, Curso de Comando e Estado Maior, 2019.

Orientador: Julíbio David Ardigo, Dr.

1. Radiocomunicação Digital. 2. Rádio Móvel Profissional. 3. Padrões de Radiocomunicação. 4. P25. 5. TETRA. 6 DMR. I. Ardigo, Julíbio David. II. Doutor em Engenharia de Produção na Universidade Federal de Santa Catarina.

RODRIGO GHISOLFI DA SILVA

**ESTUDO SOBRE A IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE RADIOCOMUNICAÇÃO
DIGITAL NO CBMSC**

Monografia apresentada ao Curso de Comando e Estado-Maior e ao Curso de Especialização em Gestão Pública com Ênfase em Atividade Bombeiril, do Centro de Ensino Bombeiro Militar (CBMSC) e do Centro de Ciências da Administração e Socioeconômicas (UDESC) como requisito parcial para a obtenção do grau de Especialista em Gestão Pública com Ênfase em Atividade Bombeiril.

Banca Examinadora:

Orientador:

Dr. Julíbio David Ardigo
UDESC

Membros:

Me. Eduardo Gomes da Rocha
CBMSC

Esp. Diego Felipe Marzarotto
CBMSC

Florianópolis, 9 de dezembro de 2019

Dedico este trabalho à Deus, à minha esposa, Karen, pelo carinho, dedicação e compreensão; aos meus pais, pelo incentivo e apoio incondicionais dados a mim durante toda a minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pelo Dom da vida, por Ele ter concedido todas as oportunidades que tive, permitindo que eu chegasse até aqui.

À minha esposa, Karen, pelo carinho, apoio e paciência que dedicou a mim, dando forças para superar esta etapa.

Aos meus pais, pelo incentivo e apoio incondicionais que me permitiram chegar até aqui.

Ao meu irmão, pela amizade que sempre compartilhamos.

Aos colegas e amigos, pelos bons momentos proporcionados durante o curso, tornando-o mais interessante.

Ao meu orientador, professor Dr. Julíbio David Ardigo, pelo conhecimento e experiência transmitidos e pela forma agradável com que conduziu a elaboração deste trabalho, facilitando os meus passos.

Ao Corpo de Bombeiros Militar (CBMSC) por viabilizar todas as minhas conquistas nesta nobre carreira profissional.

Ao Centro de Ensino Bombeiro Militar, e a todos os militares que o integram, pelo empenho na realização deste curso.

À Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC) e, especialmente, ao Centro de Ciências da Administração e Socioeconômicas (ESAG) pela parceria com o CBMSC.

Aos professores do curso, tanto da ESAG como do CBMSC, pela dedicação e empenho em ministrarem aulas com elevada qualidade.

“A esperança tem duas filhas lindas, a indignação e a coragem; a indignação nos ensina a não aceitar as coisas como estão; a coragem, mudá-las.”

(Santo Agostinho)

RESUMO

O CBMSC utiliza um sistema de radiocomunicação analógico como principal sistema de comunicação operacional. Esse sistema, embora funcional, está obsoleto do ponto de vista tecnológico não sendo capaz de prover algumas funcionalidades requeridas pela Corporação, demandando a migração para um sistema digital. O presente estudo faz uma análise sobre os padrões de radiocomunicação digital disponíveis no mercado com a finalidade de substituir o atual sistema de radiocomunicação analógica. Inicialmente, abordou-se o conceito Rádio Móvel Profissional e apresentou-se as tecnologias de radiocomunicação digital mais conhecidas. A seguir, analisou-se a radiocomunicação analógica, atualmente em uso no CBMSC, bem como as três principais tecnologias de radiocomunicação digital disponíveis: P25, TETRA e DMR. Para obtenção dos dados, utilizou-se pesquisa bibliográfica, realizando-se uma revisão da literatura existente na área e uma análise documental, com a finalidade de compreender os aspectos técnicos e financeiros das tecnologias abordadas. Para o estudo foi levado em consideração a tecnologia legada, bem como as tecnologias utilizadas por outras instituições no estado, inclusive considerando a possibilidade de compartilhamento da infraestrutura. Após a análise, concluiu-se que a solução que atende os requisitos técnicos demandados pelo CBMSC, ao menor custo, é a que utiliza a tecnologia DMR.

Palavras-chave: Radiocomunicação Digital. Rádio Móvel Profissional. Padrões de Radiocomunicação. P25. TETRA. DMR.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figuras

Figura 1 - Diversos órgãos operando de maneira independente dentro da mesma rede TETRA	27
Figura 2 - Arquitetura de uma rede TETRA.....	29
Figura 3 - Mecanismo de divisão do canal em 2 slots no padrão DMR.....	33
Figura 4 - Arquitetura de referência do DMR.....	35
Figura 5 - Arquitetura de um gateway integrando diversos sistemas de rádio.....	41
Figura 6 - Interoperabilidade: Funcionalidades Testadas – DMR.....	43
Figura 7 - Mapa de previsão da cobertura DMR/P25 em Santa Catarina	47
Figura 8 - Mapa de previsão de cobertura para o sistema TETRA em Santa Catarina	50

Quadros

Quadro 1 - Características Técnicas do Padrão P25.....	23
Quadro 2 - Características Técnicas do Padrão TETRA	28
Quadro 3 - Características Técnicas do Padrão DMR.....	36
Quadro 4 - Parâmetros do Projeto - 2016.....	46
Quadro 5 - Parâmetros utilizados para elaboração do projeto de radiocomunicação digital da SSP/SC - 2012.....	48
Quadro 6 - Custo de aquisição das Estações Base do Padrão P25	56
Quadro 7 - Custo de aquisição das Estações Base do Padrão TETRA.....	56
Quadro 8 - Custo de aquisição das Estações Base do Padrão DMR	57
Quadro 9 - Custo de aquisição dos terminais digitais para CBMSC por padrão de rádio digital	58
Quadro 10 - Estimativa de custo total do sistema de rádio digital para o CBMSC.....	60
Quadro 11 - Estimativa de Custo Anual de Manutenção de Sistema de Radiocomunicação Digital.....	61
Quadro 12 - Comparação entre os Padrões Digitais em relação aos requisitos definidos.....	62

LISTA DE SIGLAS

ACT – Acordo de Cooperação Técnica
APCO – Associação de Oficiais de Comunicação da Segurança Pública
CBMSC – Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina
DiTI – Divisão de Tecnologia da Informação
DMR – Digital Radio Mobile
GSM – Global System for Mobile Communication
LMR – Land Mobile Radio (Rádio Móvel Terrestre)
LTE – Long Term Evolution
P25 – Projeto 25
PMR – Professional Radio Mobile (Rádio Móvel Profissional)
PMSC – Polícia Militar de Santa Catarina
PRF – Polícia Rodoviária Federal
SAMU – Serviço de Atendimento Móvel de Urgência
SSP/SC – Secretaria de Estado da Segurança Pública de Santa Catarina
TETRA – Terrestrial Trunked Radio

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 OBJETIVOS	14
1.1.1 Objetivo Geral	14
1.1.2 Objetivos Específicos	14
1.2 JUSTIFICATIVA	14
1.3 METODOLOGIA.....	15
1.4 DESCRIÇÃO DO DOCUMENTO	15
2 REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1 TECNOLOGIAS DE RÁDIO MÓVEL PROFISSIONAL.....	17
2.2 RADIOCOMUNICAÇÃO ANALÓGICA	18
2.3 PADRÃO APCO P-25	20
2.3.1 Aspectos Técnicos do Sistema P-25	22
2.4 PADRÃO TETRA.....	24
2.4.1 O TETRA em Santa Catarina	25
2.4.2 Aspectos técnicos do sistema TETRA	27
2.5 PADRÃO DMR.....	31
2.5.1 O DMR em Santa Catarina	32
2.5.2 Aspectos Técnicos do Sistema DMR	33
3 REQUISITOS TÉCNICO-OPERACIONAIS PARA O SISTEMA DE RADIOCOMUNICAÇÃO DO CBMSC.....	37
4 ANÁLISE DOS REQUISITOS	39
4.1 INTEROPERABILIDADE	39
4.1.1 A interoperabilidade entre agências	40
4.1.2 Interoperabilidade entre fabricantes	41
4.1.3 Interoperabilidade entre tecnologias	43
4.2 ÁREA DE COBERTURA.....	44
4.3 SIGILO NAS COMUNICAÇÕES	50
4.4 ANÁLISE FINANCEIRA.....	52
4.4.1 Comparativo e análise do custo de implantação dos sistemas digitais	54
4.4.2 Custo de aquisição das Estações Rádio Base	55
4.4.2.1 Custo de aquisição dos Terminais Digitais.....	58
4.4.2.2 Custo total das tecnologias para o CBMSC	59
4.4.2.3 Custo de manutenção.....	60

4.5 COMPARAÇÃO ENTRE OS PADRÕES DIGITAIS EM RELAÇÃO AOS REQUISITOS DEFINIDOS	62
5 CONCLUSÃO.....	65
REFERÊNCIAS	69

1 INTRODUÇÃO

O sistema de radiocomunicação constitui um meio essencial de comunicação para os órgãos de segurança pública, tendo em vista que permitem às equipes de atendimento emergencial uma comunicação rápida e prática. Tal característica da radiocomunicação é essencial para o trabalho de bombeiros e policiais que necessitam de uma forma de comunicação ágil, seja para o acionamento de equipes, seja para a solicitação de apoio ou de recursos adicionais que podem ser necessários para a resolução da ocorrência ou do sinistro.

O rádio é o meio de comunicação mais comum em ocorrências, isso se deve ao fato de que ele permite comunicações instantâneas com todos os envolvidos no episódio. Por meio do rádio é possível ter ciência e avaliar um acidente, transmitir ou receber os planos e estratégias de forma ágil, além de manter a responsabilidade pessoal (CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE SÃO PAULO, 2006 apud COUTINHO, 2017).

De acordo com o Exército Brasileiro (1997)

O rádio é o principal meio de comunicação utilizado em operações e em situações onde o deslocamento e a movimentação ágil se fazem necessários. Isso ocorre, principalmente, pelo fato de os rádios poderem ser instalados de forma mais rápida do que outros meios de comunicação que, por exemplo, necessitem da implantação de uma malha de condução por fios. Outra vantagem da utilização é por não sofrerem tantas limitações relativas ao terreno onde ocorre a operação.

Conforme o Corpo de Bombeiros Militar de São Paulo (2006 apud COUTINHO, 2017, p.14) “Para o bom andamento da ocorrência é necessário que os combatentes consigam, a qualquer momento, trocar informações que ajudem na operação e aumentem a segurança do bombeiro.” Isso permite que o bombeiro militar possa receber informações mais precisas da Central de Operações acerca da evolução da ocorrência que irá atender e sobre a existência de vítimas a serem resgatadas, bem como, estando no local do sinistro, solicitar recursos adicionais na cena do desastre para apoiar as equipes em campo ou ainda para resgatar um bombeiro ferido.

No Estado de Santa Catarina, assim como em muitos estados brasileiros, os órgãos de segurança pública operam um sistema de radiocomunicação analógica. Entretanto, essa tecnologia vem sendo substituída por sistemas digitais de radiocomunicação na maioria dos locais. Essa substituição ocorre por diversos motivos, dentre eles: a necessidade de maior sigilo nas comunicações (em especial para as forças policiais), maior qualidade e capacidade nas comunicações, bem como, pela própria pressão de agências governamentais por um melhor aproveitamento do espectro de radiofrequência.

De acordo com Onali, Sole e Giusto (2011, p. 2151, tradução livre) “As redes de gerenciamento de emergência estão evoluindo em direção a soluções digitais avançadas que permitem aos operadores superar limitações das redes analógicas.”

Sendo assim, diversas corporações de polícias e bombeiros iniciaram o processo de implantação de um sistema de radiocomunicação digital, realizando estudos, projetos, análises e, em alguns estados, as forças de segurança pública já começaram a instalação e utilização de sistemas de radiocomunicação digital.

A principal vantagem dos sistemas digitais é sua capacidade de filtrar ruídos e reconstruir sinais provenientes de transmissões degradadas através de codificadores que permitem detectar e corrigir automaticamente erros de transmissão, desde que o nível de ruído esteja abaixo de um certo limiar. Vantagens adicionais estão relacionadas ao aprimoramento da eficiência espectral, bem como a implementação de recursos avançados, como chamadas em grupo, chamadas *broadcast* e o uso de redes TCP/IP de baixo custo como base para a implementação de um *backbone* da rede de rádio (ONALI; SOLE; GIUSTO, 2011).

Ao implementar uma rede de comunicação, um passo imprescindível é a decisão acerca do padrão que será utilizado. Existem diversos padrões ou protocolos de radiocomunicação digital disponíveis no mercado, os quais foram desenvolvidos principalmente por fabricantes ou por associações de fabricantes de equipamentos de comunicações. Dentre os padrões de radiocomunicação utilizados pelas corporações de segurança pública, destacam-se os protocolos TETRA, APCO P25 e DMR.

Conforme Onali, Sole e Giusto (2011, p. 2151, tradução livre)

Nos últimos anos, muitas organizações públicas e privadas; como forças policiais, corpos de bombeiros e serviços de atendimento médico de urgência; construíram suas próprias soluções de rádio digital troncalizado ou *simulcast* para substituir redes de rádio analógicas. As tecnologias troncalizadas tornaram-se uma boa escolha no mercado de segurança pública que requer maior taxa de bits, confiabilidade e desempenho de segurança em áreas com extensão limitada. Nos países cobertos pelo ETSI (Europa), esse mercado é atendido principalmente pelo padrão TETRA, por outro lado, na América do Norte a Associação da Indústria de Telecomunicações (TIA) definiu como padrão o Projeto 25 (P25), que possui recursos similares em relação ao TETRA.

O padrão DMR fornece melhorias de eficiência espectral, controle de voz avançada e dados IP integrados, serviços em bandas licenciadas para comunicações de alta potência, que são adequadas para profissionais que necessitam de sistema de missão/operação crítica.

O Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina (CBMSC) opera atualmente um sistema de radiocomunicação analógico, que embora atenda a maioria dos municípios em que a Corporação atua, cobrindo boa parte de território estadual e de ser um sistema de

manutenção relativamente barata, é limitado em termos de funcionalidades e não atende aos requisitos necessários para o serviço operacional. Entre essas deficiências destacam-se a falta de cobertura do sinal em toda a área de atuação da Corporação; a necessidade de interligação entre as repetidoras por meio de enlaces IP com possibilidade implementação futura de *trunking*; a ausência de sigilo mínimo nas chamadas; a vulnerabilidade de interferência de terceiros em comunicações de ocorrências em andamento; a ausência de serviços de voz avançados, como a possibilidade de realização de chamadas em grupos específicos, chamadas entre terminais e a realização de roaming na mudança de uma célula para a outra.

Além disso, existe uma certa pressão governamental, por meio das resoluções da Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL), para que os sistemas analógicos sejam substituídos por sistemas digitais, os quais possibilitam um aproveitamento mais eficiente do espectro radioelétrico.

Dessa maneira, o CBMSC, por meio da sua Divisão de Tecnologia da Informação (DiTI), iniciou estudos para a implementação de uma tecnologia de radiocomunicação digital. Ao final desse processo, optou-se por utilizar uma tecnologia que permitisse aproveitar o legado da tecnologia em uso, utilizando-se os terminais analógicos existentes, ao menos, até a migração completa para a nova tecnologia. A tecnologia inicialmente escolhida pela Corporação foi o padrão Digital Radio Mobile (DMR), em razão dos atendimentos dos pré-requisitos estabelecidos.

Por outro lado, a Polícia Militar de Santa Catarina (PMSC), utilizando um projeto realizado pela Secretaria de Estado da Segurança Pública de Santa Catarina (SSP/SC), celebrou um Acordo de Cooperação Técnica (ACT) com a Polícia Rodoviária Federal (PRF) para compartilhamento de infraestrutura, a qual já está em migração para o padrão TETRA. Com o objetivo de possibilitar a ampliação do compartilhamento de infraestrutura entre as forças, a PMSC propôs ao CBMSC a adoção do mesmo sistema.

Além dos padrões adotados pelas corporações supracitadas, existem, outros padrões e tecnologias de radiocomunicação digital disponíveis no mercado e que devem ser considerados. Sendo assim, o CBMSC deverá escolher, dentre os padrões existentes, qual será o mais vantajoso para a corporação, considerando-se os aspectos técnicos, operacionais e financeiros.

Essa situação levou à seguinte indagação, a qual norteou os rumos da pesquisa:

“Dentre os padrões de radiocomunicação digital existentes no mercado, qual seria o mais vantajoso para o CBMSC sob o aspecto financeiro, técnico e operacional?”

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Esta monografia tem como objetivo geral propor uma tecnologia (padrão) de radiocomunicação digital a ser adotada pelo Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina em substituição ao atual sistema de radiocomunicação analógica.

1.1.2 Objetivos Específicos

Este trabalho possui os seguintes objetivos específicos:

- Analisar as principais tecnologias de radiocomunicação digital disponíveis no mercado para este tipo de aplicação;
- Levantar os requisitos de radiocomunicação para uso operacional do CBMSC;
- Prospectar os custos de implantação das diferentes tecnologias de radiocomunicação digital;
- Comparar as tecnologias existentes sob o aspecto técnico e financeiro.

1.2 JUSTIFICATIVA

A escolha do tema de deu em virtude de que o comando do CBMSC, em razão da obsolescência do sistema analógico, bem como, por pressão governamental, que por meio da ANATEL vem exigindo um aproveitamento cada vez mais eficiente do espectro de sinal radioelétrico, necessita migrar o seu sistema de radiocomunicação atual para uma tecnologia digital. Dessa maneira, o tema escolhido também se justifica em razão de que o trabalho poderá ser mais uma fonte de consulta para auxiliar na tomada de decisão do Comando do CBMSC, bem como outros, acerca da tecnologia a ser adotada.

Além disso, justifica-se também pelo fato de o pesquisador possuir afinidade com a área de radiocomunicação, tendo o mesmo trabalhado no Centro de Infraestrutura da Divisão de Tecnologia da Informação do CBMSC, sendo encarregado pela Seção de Radiocomunicação, por mais de 6 anos, e também pela formação acadêmica do pesquisador na graduação de Engenharia Elétrica e pós-graduado na área de comunicações.

1.3 METODOLOGIA

A natureza da investigação é qualitativa, a qual, segundo Richardson (1999), não emprega um instrumental estatístico como base do processo de análise de um problema. Em relação aos propósitos trata-se de uma pesquisa exploratória, pois se caracteriza pelo desenvolvimento e esclarecimento de ideias, com objetivo de oferecer uma visão panorâmica do fenômeno que é explorado (GONSALVES, 2003).

Com respeito aos procedimentos e coleta de dados este estudo foi desenvolvido utilizando-se de pesquisa bibliográfica, por meio de revisão da literatura existente na área e análise documental, com vistas a compreender os aspectos técnicos e o custo financeiro das tecnologias de radiocomunicação digital. Para isso, foram utilizadas as seguintes fontes: livros, artigos, publicações técnicas e científicas, dissertações, normas e legislação.

Além disso, segundo o delineamento da pesquisa, trata-se de um estudo de caso, pois privilegia um caso particular e objetiva colaborar nas tomadas de decisões sobre o problema estudado, indicando as possibilidades para a sua modificação (GONSALVES, 2003). No caso específico do CBMSC, a Corporação precisa definir qual tecnologia será adotada, e tal decisão norteará os investimentos em radiocomunicação na próxima década.

1.4 DESCRIÇÃO DO DOCUMENTO

O presente trabalho está dividido em 5 capítulos, como segue:

No Capítulo 1 foi realizada a introdução, a qual aborda a descrição do problema, o objetivo geral, os objetivos específicos, a justificativa para o trabalho e a metodologia empregada.

No Capítulo 2 foi apresentado o conceito de Rádio Móvel Profissional e foram apresentadas as principais tecnologias de radiocomunicação em uso no mercado atualmente, passando pelo sistema analógico, atualmente em operação no CBMSC, e abordando os três padrões de radiocomunicação digital mais adotados por forças de segurança pública. Adicionalmente, foram descritos os aspectos históricos, técnicos, operacionais e financeiros de cada tecnologia.

Em seguida, no Capítulo 3, foram apresentados os requisitos necessários a um sistema de radiocomunicação digital para o CBMSC.

No Capítulo 4 foi realizada uma análise detalhada das características de cada tecnologia em relação aos requisitos levantados.

E, por fim, o Capítulo 5 contém a conclusão, comentários e sugestões do autor acerca do tema abordado e de assuntos para estudos futuros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 TECNOLOGIAS DE RÁDIO MÓVEL PROFISSIONAL

O termo PMR (Rádio Móvel Profissional, em português), de acordo com Onali, Sole e Giusto (2011, tradução livre), refere-se a “[...] um conjunto de tecnologias de rede móvel implantadas para usuários de missão crítica, como forças policiais, corpos de bombeiros e órgãos de emergência de saúde, que necessitam sistemas de comunicação acessíveis.”

Além disso, conforme explicam Onali, Sole e Giusto (2011, p. 2152, tradução livre)

[...] Redes PMR fornecem serviços de rádio para grupos de usuários fechados, chamadas em grupo e *push-to-talk*, e têm tempos de preparação de chamada que são geralmente curtos em comparação com os sistemas celulares. Além disso, eles fornecem comunicações em situações extremas, as quais poderia causar falhas de outras redes de comunicação, como 2G/3G.

Uma rede PMR consiste em uma ou mais estações base e um certo número de terminais móveis ou veiculares. Os usuários gerenciam diretamente as comunicações de rádio, não é requerido um sistema inteligente. As soluções PMR contam com padrões analógicos e digitais. Enquanto os primeiros ainda são altamente difundidos, recentemente novas soluções digitais estão sendo propostas e estão, lentamente, substituindo os tradicionais sistemas analógicos, permitindo maior área de cobertura, maior segurança e maior variedade de serviços, seja para voz ou transmissão de dados (ONALI; SOLE; GIUSTO, 2011).

Neste sentido, Ulema (2019) afirma que as antigas tecnologias de rádio de comunicação crítica analógicas foram substituídas em grande parte do mundo por tecnologias de banda estreita, totalmente digitais, de voz e de dados.

Atualmente, sistemas de rádio digital de banda estreita são a principal tecnologia usada por agências de segurança pública e por muitos setores. Esses sistemas são chamados de Rádio Móvel Terrestre (LMR) ou PMR, que são baseados principalmente nos padrões Projeto 25 (P25), TETRA (e suas variações) e DMR (Digital Mobile Radio) (ULEMA, 2019).

Existem diversas tecnologias sendo utilizadas em muitos países, os padrões TETRA e P25 são as mais usadas na Europa e nos Estados Unidos da América, respectivamente. Sendo que o DMR, que é um padrão mais novo em relação ao TETRA e ao P25, também vem sendo adotado em várias regiões, incluindo as mencionadas. O padrão LTE, que se diferencia das outras tecnologias por ser um padrão de comunicação em banda larga, vem ganhando espaço, porém seu custo ainda é alto. Essa percepção é discutida por Ulema (2019, p. 4, tradução livre):

O TETRA tem sido a principal escolha de agências de segurança pública e organizações comerciais e públicas na Europa e as tecnologias do Projeto 25 foram usadas principalmente na América do Norte. Sistemas baseados em DMR, uma nova tecnologia padrão de banda estreita, totalmente digital, também foram escolhidos em algumas regiões.

Em parte, devido à disponibilidade de aplicativos comerciais de banda larga e, parcialmente devido à crescente demanda pelas agências de segurança pública, as possibilidades de serviços de dados de banda larga para redes de segurança pública estão sendo discutidos cada vez mais em muitos países desenvolvidos, incluindo os EUA e os países europeus. A tecnologia LTE está no centro dessa nova tendência.

Dessa maneira, além da tecnologia analógica, que pode ser considerada uma tecnologia legada, visto que está entrando em desuso, estão disponíveis no mercado vários padrões digitais, dentre os quais se destacam: o TETRA, O TETRAPOL, o P25, o DMR e o LTE. Contudo, conforme afirma Ulema (2019, p. 60, tradução livre), “Projeto 25, TETRA e DMR tem sido os sistemas de banda estreita dominantes nas agências de segurança pública no mundo atualmente.”

A escolha da tecnologia que melhor atende às necessidades de uma organização, deve ser pautada em diversos critérios, conforme afirma Ludolf (2011, p. 8)

Os critérios para escolha dos padrões digitais incluem as características normativas, qualidade técnica com robustez na transmissão e recepção, nível mínimo de interferências e qualidade do sinal, condições de propagação em extensão da área de cobertura, ocupação do espectro e compatibilidade para interoperabilidade de sinais digitais e analógicos.

2.2 RADIOCOMUNICAÇÃO ANALÓGICA

Conforme explicam Onali, Sole e Giusto (2011, p. 2152, tradução livre) “Os sistemas PMR com tecnologia analógica tem obtido grande sucesso graças ao baixo custo de implementação, ao grande alcance da cobertura do sinal e à facilidade de implantação.”

Na realidade, a principal vantagem do sistema analógico é o seu baixo custo de manutenção, inferior ao custo de qualquer sistema de radiocomunicação digital. Contudo, a tecnologia analógica é gradativamente descontinuada ou substituída por sistemas híbridos (que operam em modo analógico e em modo digital, a fim de facilitar a migração para um futuro sistema digital), o que dificulta a aquisição de peças de reposição, comprometendo o diferencial do baixo custo de manutenção (CBMSC, 2019).

Outra vantagem dos rádios analógicos, se dá em relação à interoperabilidade, visto que qualquer equipamento analógico pode se conectar na rede, desde que esteja programado na mesma frequência e sub-tom da repetidora.

O CBMSC possui, atualmente, 78 repetidoras (estações base) de radiocomunicação analógicas, operando na faixa VHF, e cerca de 2 mil rádios móveis e portáteis distribuídos pelo território catarinense. As repetidoras são interligadas por meio de enlaces analógicos que operam na faixa de UHF, os quais conectam as estações base entre si dentro da área do batalhão a que atendem (BMSC, 2019). Como já mencionado, uma vantagem deste sistema é o seu baixo custo de manutenção e a grande facilidade na instalação de repetidoras em novos sítios.

Entretanto, os sistemas de radiocomunicação analógica se mostram, também, mais suscetíveis a interferências de sinais externos, bem como apresentam menor segurança na confidencialidade das comunicações, visto que não possuem nenhum sistema de criptografia associado ao sistema, permitindo fácil acesso às comunicações de rádio por agentes externos (CBMSC, 2019).

A tecnologia analógica possui outras limitações, como a degradação da qualidade do áudio para curtas distâncias, interferências devidas à saturação do espectro e o curto tempo de vida das baterias. Estes sistemas normalmente utilizam canais com largura de banda de 25kHz (ONALI; SOLE; GIUSTO, 2011).

Para o melhor aproveitamento do espectro de frequências radioelétricas as agências reguladoras e órgãos responsáveis pelas telecomunicações de diversos países estão criando normas mais rigorosas e restritivas do uso das faixas de frequências, pressionando, dessa maneira, os usuários a migrarem para os sistemas digitais. Nos Estados Unidos da América, por exemplo, o órgão responsável daquele país, chamado de FCC (Comissão Federal de Comunicação) restringiu a largura de banda para os sistemas de radiocomunicação, como explicam Onali, Sole e Giusto (2019, p. 2151, tradução livre):

[...] a Comissão Federal de Comunicação (FCC) exigiu que todos os sistemas de comunicação PMR operando em banda larga (25 kHz) em canais VHF/UHF de rádios móveis terrestres devem migrar para sistemas que operam em banda estreita (12,5 kHz) até janeiro de 2013. Esta medida força os usuários a migrarem da tecnologia analógica para a digital.

No Brasil, a ANATEL publicou a Resolução N° 558, de 20 de dezembro de 2010 (ANATEL, 2010), a qual impede as organizações de licenciarem frequências na faixa de UHF para sistemas analógicos, não sendo possível renovar ou ampliar os enlaces analógicos das atuais repetidoras do CBMSC.

Em relação às licenças analógicas na faixa de VHF, o CBMSC possui as frequências licenciadas na ANATEL até 28 de julho de 2025, autorizada em 2008. Embora não afetasse diretamente o CBMSC a curto prazo, em 2011, a agência reguladora publicou a Resolução n°

568, de 15 de junho de 2011, que em seu Art. 19 impôs que “Após 31 de dezembro de 2012, não serão mais autorizados novos, nem renovadas autorizações de sistemas analógicos.”. (ANATEL, 2011)

Porém, no ano de 2017, a ANATEL publicou a Resolução nº 674, a qual revogou a Resolução nº 568/2011, e prorrogou a data limite para a renovação e licenciamento de novas frequências analógicas na faixa de VHF para o dia 13 de fevereiro de 2022 (ANATEL, 2017). Dessa maneira, o CBMSC poderia, em tese, manter o seu sistema de radiocomunicação VHF analógica até, no máximo, o ano de 2042, sendo necessário apenas migrar os enlaces entre as repetidoras do UHF analógico para alguma tecnologia digital.

Sendo assim, apesar de o sistema analógico apresentar baixo custo para manutenção e implantação, as suas limitações em relação às suas funcionalidades, bem como, as limitações impostas pela ANATEL, cada vez mais corroboram para a necessidade de uma migração desta tecnologia para uma tecnologia digital.

Neste sentido, a seguir são apresentadas algumas tecnologias digitais passíveis de serem adotadas pelo CBMSC.

2.3 PADRÃO APCO P-25

O Projeto 25 (P-25) refere-se à reunião de padrões da Associação da Indústria de Telecomunicações (TIA) para radiocomunicações digitais. Estes padrões estão direcionados, em sua grande maioria, para instituições de segurança pública. Associações da indústria e fabricantes de equipamentos definiram as funcionalidades e as interfaces necessárias para que se tornasse possível à interoperabilidade entre vários fabricantes de equipamentos que adotassem essa tecnologia (LUDOLF, 2011).

De acordo com Kavanagh (1978 apud LUDOLF, 2011) este padrão surgiu como uma forma de solucionar o problema de congestionamento de na faixa de frequência utilizada por estações de radiocomunicação nos Estados Unidos da América. Dessa maneira, a Comissão Federal de Comunicações (FCC), agência reguladora daquele país, começou a realizar pesquisas na área de padrões troncalizados, os quais utilizavam 200 canais de radiofrequência do espectro radioelétrico.

Contudo, segundo Ludolf (2011, p. 9), “A base evolutiva do Projeto 25 foi criada pela Associação de Oficiais de Comunicações em Segurança Pública dos Estados Unidos (Associated Public-Safety Communications Officers - APCO).”. Por isso, o padrão é comumente chamado de APCO-25.

Ulema (2019) informa que em 1988 diversas agências federais dos Estados Unidos estabeleceram um comitê contendo 11 membros-diretores, o qual foi chamado de Comitê Diretor Projeto 25. Este comitê definiu os requisitos para um sistema de radiocomunicação digital para a segurança pública. Participaram deste esforço diversas instituições como:

- Associação de Oficiais de Comunicações em Segurança Pública (APCO);
- Associação Nacional de Diretores Estatais de Telecomunicações (NASTD);
- Administração Nacional de Telecomunicações e Informação (NTIA);
- Sistema Nacional de Comunicações (NCS);
- Agência de Segurança Nacional (NSA);
- Departamento de Defesa.

Além das organizações citadas acima, a Guarda Costeira e o Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia (NSTI), entre outros, também se envolveram neste projeto.

O comitê estabeleceu um acordo com a Associação da Indústria de Telecomunicações para, em um esforço conjunto, desenvolver o padrão P25.

De acordo com Ulema (2019, p. 66, tradução livre) “o Projeto 25 foi aceito como padrão nacional nos Estados Unidos para sistemas de comunicação crítica, servindo as agências de segurança pública em nível local, municipal, estadual e federal.”

O P25 foi elaborado para ser um sistema eficiente do ponto de vista espectral, se comparado aos tradicionais sistemas de rádio analógicos, sendo implantado em 3 fases: Fase 0, Fase 1 e Fase 2.

Na fase 0, como explicado por Prado e Amaral (2008, p. 117), “O P25 procurou adequar suas especificações técnicas às interfaces aéreas de outros sistemas, em especial dos equipamentos analógicos, por meio de Interfaces Aéreas Comuns (CAI).”

A fase 1 é caracterizada pelo método de acesso ao canal conhecido como FDMA (Frequency Division Multiple Access ou Múltiplo Acesso por Divisão de Frequência). Basicamente o FDMA divide o espectro em vários canais com uma determinada largura de banda e que, durante uma chamada, torna esses canais restritos a essa mesma chamada. (HARTE, 2006 apud OLIVEIRA; SILVA, 2016). Conforme Ulema (2019) o P-25 Fase 1 possui espaçamento de canal de 12,5 kHz e método de acesso FDMA, suportando uma taxa de transmissão de dados de até 9,6 Kbps. Ele também é capaz de operar em sistemas analógicos FM (com função “autosense” que permite operar em modo analógico e digital).

Na Fase 2, estágio atual do projeto, implementou-se o TDMA (Time Division Multiple Access), característico pelas suas *timeslots*. Utilizando esta técnica, um canal deixou de ser

exclusivamente utilizado por um utilizador durante todo o tempo em que uma chamada está em curso e passou a ser possível transmitir várias chamadas pelo mesmo canal (HARTE, 2006 apud OLIVEIRA; SILVA, 2016). De acordo com Ulema (2019) o P-25 Fase 2 possui método de acesso com 2 *slots* TDMA por canal, e usa canais de 6,25 kHz. Além disso, o padrão suporta taxa de transmissão de dados de 12 Kbps.

Para Ulema (2019, p. 67, tradução livre) “O TDMA na Fase 2 é um recurso adicional, não substituindo o FDMA. Esta expansão permite aos titulares de licenças de 12,5 KHz duplicar a capacidade de chamadas, apenas atualizando sua infraestrutura para a Fase 2.”

Os rádios projetados para a Fase 2 precisam ter as funcionalidades da Fase 1. Dependendo da funcionalidade, o sistema Fase 2 utiliza funcionalidades da Fase 1 para maior eficiência. Por exemplo, dados em geral operam no modo da Fase 1. O canal de controle do *Master Site* opera sempre no modo da fase 1. O sistema é inteligente a tal ponto que os canais de tráfego podem ser alocados dinamicamente como Fase 1 ou 2, dependendo dos rádios envolvidos na chamada. Tais características garantem um sistema mais amplo e interoperável (TAIT COMMUNICATIONS, 2015 apud OLIVEIRA; SILVA, 2018).

2.3.1 Aspectos Técnicos do Sistema P-25

Quanto à modulação do sinal na Fase 1 o P-25 utiliza método de modulação *Continuous 4 Level FM* (C4FM) ou o *Compatible Quadrature Phase Shift Keying* (CQPSK) e na Fase 2, utiliza os métodos *Harmonized Differencial Quadrature Phase Shift Keying* (H-DQPSK) e o *Harmonized Continuous Phase Modulation* (H-CPM) (ULEMA, 2019).

As especificações resultantes do Projeto 25 são baseadas em uma arquitetura aberta com interfaces, recursos e operações padronizados, publicamente disponíveis e abertos. O objetivo primário é permitir a interoperabilidade entre os equipamentos compatíveis com o Projeto 25, bem como interoperabilidade com os rádios legados que operam no modo analógico. Desta maneira, os rádios do Project 25 podem operar nos modos analógico e digital (ULEMA, 2019).

Sendo assim, por permitir a operação em modo analógico, o P25 possibilita a migração gradativa da infraestrutura e dos terminais do antigo sistema analógico para o sistema digital.

De acordo com a POLÍCIA MILITAR DE MINAS GERAIS (2013) algumas características importantes do P-25 são:

- Projetado para serviços de segurança pública;
- Compatível com sistemas analógicos;

- Cobre áreas extensas com menor número de repetidoras que possuem potências de até 100 Watts;
 - FDMA na Fase 1 e TDMA na Fase 2 - melhor eficiência espectral;
 - Permite a composição de sistemas troncalizados e convencionais, de acordo com a densidade de usuários;
 - Possibilidade de uso na faixa VHF (Conforme resolução N° 568 da ANATEL);
 - O P25, na Fase 2, possui eficiência espectral dupla (mesma eficiência do TETRA);
 - O P25 Fase 2 possui a mesma cobertura do P25 Fase 1;
 - Permite aplicações de dados como GPS/AVL e mensagens curtas;
 - Permite a interoperabilidade entre múltiplos fabricantes de produtos P25.
- Segue abaixo um quadro com algumas características do padrão P25 (Quadro 1).

Quadro 1 - Características Técnicas do Padrão P25

Características	Valores
Organismo de Padronização	TIA
Largura de banda do canal	12,5 kHz
Largura de banda efetiva de comunicação	12,5/6,25 kHz
Método de Acesso	FDMA e TDMA (2 slots por canal de 12,5 kHz)
Potência de transmissão (estação base)	Até 100 Watts
Potência de transmissão do terminal portátil	Até 6 Watts
Potência de transmissão do terminal móvel	Até 45 Watts
Frequência de Operação	136-174 MHz/403-512 MHz/806-870 MHz
Modo de operação	Analógico e Digital
Comunicação	Half-Duplex/ Full-Duplex (Fase 2 - opcional)
Mensagens de texto	Até 256 caracteres (APCO)
Taxa de transmissão de dados	9,6 Kbps (Fase1)/ 12 Kbps (Fase 2)
Criptografia	DES/AES

Fonte: Adaptado de Ulema (2019).

2.4 PADRÃO TETRA

De acordo com Wellisch (2012, p. 6) “O protocolo TETRA foi idealizado pelo Instituto Europeu de Padrões de Telecomunicação (European Telecommunications Standards Institute - ETSI) como padrão europeu para desempenhar os serviços móveis de radiocomunicação troncalizada e teve a sua primeira versão publicada em 1995.”

Nessa direção, conforme Ulema (2019, p. 88, tradução livre)

O projeto TETRA teve seu início nos anos 1980 com o objetivo de desenvolver um padrão de rede móvel comercial sem fio. Por causa desse objetivo, as especificações iniciais incluíam várias características como a maximização de tráfego. Entretanto, dado a complexidade do escopo, o projeto do ETSI estava levando muitos anos a ser finalizado. Neste interim, o Global System for Mobile Communications (GSM), se tornou popular e onipresente, inviabilizando a criação do TETRA. Esse revés causou dificuldades significativas para as empresas que investiram no desenvolvimento do TETRA e elas identificaram o mercado de segurança pública como uma maneira para vender seus produtos. Com o suporte de diversas agências de segurança pública europeias, o TETRA se tornou a solução mais popular para a segurança pública na Europa e no mundo.

Note que, quando falamos em “Padrão TETRA”, nos referimos a um conjunto de padrões relacionados desenvolvidos pelo ETSI.

[...] Além disso, os padrões TETRA foram desenvolvidos em fases ao longo do tempo. O ETSI utiliza a palavra “Release” para se referir a estas fases - TETRA Release 1 e TETRA Release 2.

O TETRA é um sistema de rádio troncalizado, que se tornou largamente utilizado na Europa e, posteriormente, em vários países pelo mundo. A *TETRA and Critical Communications Association* (TCCA) estimou em junho de 2016 que foram implantados mais de 250 redes TETRA em mais de 120 países (ULEMA, 2019).

Dentre as principais aplicações do referido protocolo, a que mais se destaca é a relacionada à segurança pública. O padrão TETRA propicia um sistema robusto e opera em frequências que permitem o balanceamento entre a área de cobertura e taxas de transmissão, adequada aos serviços emergenciais (WELLISCH, 2012).

De acordo com Ribeiro (2016, p. 23), a primeira grande rede TETRA a chegar ao Brasil foi a do Rio de Janeiro, em vista dos Jogos Pan-Americanos de 2007.

As redes TETRA chegaram ao Brasil no final dos anos 1990, no entanto, apenas em 2007 uma rede de grandes proporções foi implantada. Essa rede surgiu para atender a demanda por segurança nas comunicações oficiais do Rio de Janeiro, que optou pelo padrão TETRA para apoiar as comunicações da 15ª edição dos jogos Pan-Americanos na capital carioca.

Segundo Giusti (2016) no Brasil o TETRA é usado pela PRF e algumas estruturas de poder público municipal (prefeituras) como: Porto Alegre, Caxias do Sul e Londrina. Nas polícias brasileiras é adotado nos estados do Rio de Janeiro, Acre, Alagoas, Amapá, Bahia, Goiás e Distrito Federal.

O TETRA é um padrão maduro testado pelo tempo. Já existem muitos produtos e aplicativos disponíveis a partir de diferentes fabricantes e desenvolvedores. É um mercado altamente competitivo, que se reflete no custo dos produtos, bem como flexibilidade no processo de aquisição (ULEMA, 2019).

2.4.1 O TETRA em Santa Catarina

Em 2002 a Secretaria de Estado da Segurança Pública de Santa Catarina (SSP/SC) assinou contrato com uma empresa prestadora dos serviços de radiocomunicação para o Estado de Santa Catarina, possuindo como principais usuários a PMSC, a Polícia Civil e o Departamento Estadual de Administração Penal (DEAP). O CBMSC não participou do contrato pois, à época, em razão de uma decisão institucional, a corporação preferiu instalar a sua própria rede de radiocomunicação analógica.

Posteriormente, em razão do alto custo do aluguel dos equipamentos para o Estado, bem como, em razão de contratos que se mostraram desvantajosos para os órgãos de segurança pública, houve a decisão geral de não mais manter o contrato com a empresa prestadora desse serviço.

Após a decisão do estado de implantar suas próprias redes, a empresa contratada decidiu não mais prestar o serviço, o que ocasionaria um apagão no PMR. Contudo, em razão de decisão judicial, foi imposto à empresa manter a prestação do Serviço Móvel Especializado Analógico, utilizado pela PMSC e pelo DEAP/SJC em 104 municípios do litoral, até a data de 30 de setembro de 2020.

Em 2013 a SSP/SC contratou uma empresa especializada para confeccionar um projeto de radiocomunicação para o Estado de Santa Catarina, baseando-se na tecnologia TETRA. O projeto prevê os pontos de instalação das estações base necessárias, bem como a simulação da área de cobertura das estações distribuídas pelo estado. O projeto prevê a instalação de 321 repetidoras digitais com protocolo TETRA, com cobertura predominantemente em área urbana. Em 19 de junho de 2017 foi firmado o ACT N° 01/2017, entre a Secretaria de Estado da Segurança Pública de Santa Catarina (SSP/SC) e a Polícia Rodoviária Federal (PRF) para compartilhamento de infraestrutura e sistemas de radiocomunicação entre as entidades. O

acordo prevê o compartilhamento do uso de 82 repetidoras instaladas e mantidas pela PRF (a qual arcará integralmente com a manutenção dessas repetidoras).

Dessa maneira, foi aproveitado o projeto de radiocomunicação da SSP/SC, confeccionado em 2013, contando com as repetidoras que serão instaladas pela PRF, o que diminuirá substancialmente o custo de implantação do sistema no litoral e em locais em que houver cobertura pela rede instalada pela PRF.

Conforme o Projeto de Radiocomunicação Digital da Segurança Pública de Santa Catarina, foi definido um cronograma que estabeleceu que a implantação das estações base deverá ocorrer em 3 etapas:

- Meta 1: Implantação do sistema TETRA na grande Florianópolis. Prazo: outubro de 2019 (Já implantado);
- Meta 2: Implantação do sistema TETRA na região do litoral do estado. Prazo: setembro de 2020;
- Meta 3: Implantação do sistema no Interior do estado. Prazo: sem previsão.

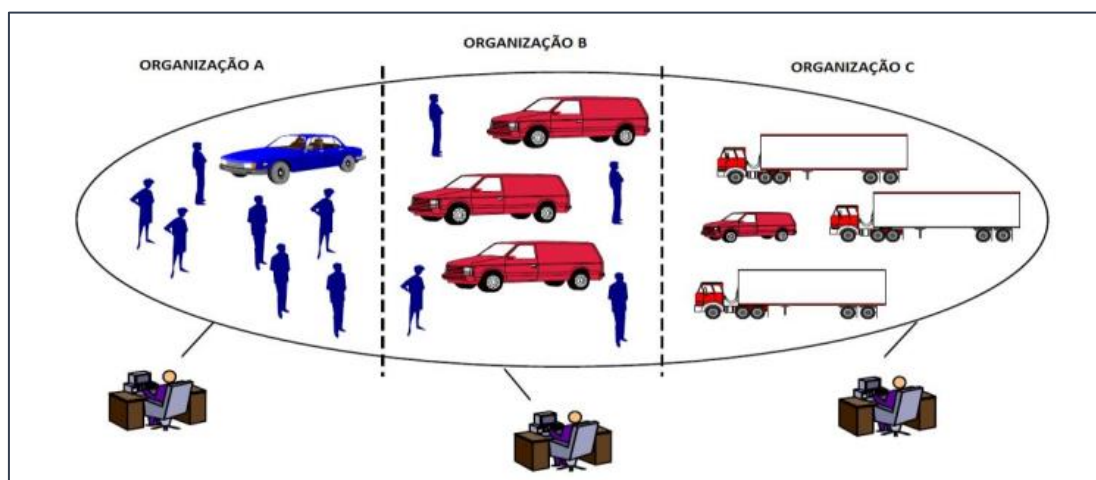
Sendo a Meta 3 a mais complexa, considerando-se o número de repetidoras necessárias para cobrir todo o interior de Santa Catarina.

De acordo com Fernandes (2017, p. 7) a PRF utiliza, como padrão, “o sistema TETRA NEBULA da TELTRONIC, com capacidade para uso compartilhado na rede por parte de várias organizações, fornecendo como importante característica a privacidade e uma mútua segurança das comunicações.”

O TETRA NEBULA é um sistema de rádio troncalizado que permite as mais avançadas funcionalidades e configurações, permitindo comunicações de voz (privadas, grupos, telefônicas, etc.) tanto semi-duplex como full-duplex, além de dados nas múltiplas variáveis contempladas pela norma TETRA, que ainda se atribuem os privilégios a cada terminal por parte dos gestores da rede. Possui certificação de interoperabilidade e eficiência de espectro magnético fornecendo segurança, confiabilidade e resiliência (TELTRONIC, 2012 apud FERNANDES, 2017).

Fernandes (2017, p. 8) informa que “As redes virtuais dentro do sistema TETRA permitem que cada órgão opere de maneira independente, aproveitando as vantagens e fazendo uso eficiente dos recursos tecnológicos da rede.” A seguir, a Figura 1 ilustra a operação da rede TETRA atendendo à vários órgãos de forma independente.

Figura 1 - Diversos órgãos operando de maneira independente dentro da mesma rede TETRA



Fonte: TELTRONIC (2016 apud FERNANDES, 2017).

2.4.2 Aspectos técnicos do sistema TETRA

De acordo com Silva (2004 apud WELLISCH, 2012, p. 7), “O padrão TETRA foi desenvolvido inicialmente para operar em um esquema de modulação robusto o suficiente de maneira a permitir a confiabilidade necessária às operações de comunicação crítica, portanto, o esquema escolhido foi o $\pi/4$ -DQPSK, com canais de 25 kHz.”

Sendo que $\pi/4$ -DQPSK se refere à forma de modulação ($\pi/4$ Differential Quadrature Phase Shift Keying). De acordo com Wellisch (2012) a protocolo TETRA suporta outros tipos de modulações, como o $\pi/8$ -DQPSK, há também as modulações em fase e amplitude 4-QAM, 16-QAM e 64-QAM), porém a modulação $\pi/4$ -DQPSK é a mais difundida no mercado.

Algumas características importantes do padrão TETRA, segundo Ulema (2019), são:

- Interface aérea com criptografia ponto-a-ponto;
- Autenticação mútua;
- Voz Integrada;
- Pacotes de informação *multislot* com preempção;
- Suporte a número ilimitado de usuários.

A seguir, no Quadro 2, são apresentadas algumas características do protocolo TETRA.

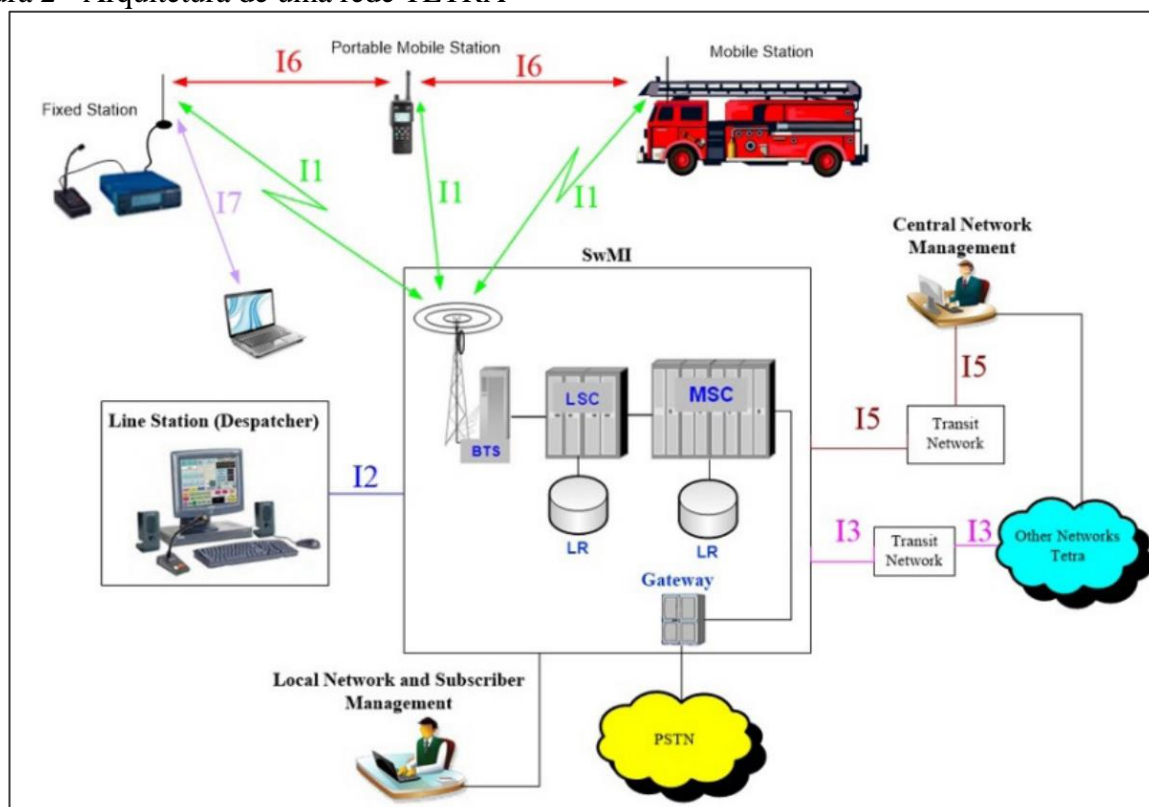
Quadro 2 - Características Técnicas do Padrão TETRA

Características	Valores
Organismo de Padronização	ETSI
Largura de banda do canal	25 kHz
Largura de banda efetiva de comunicação	6,25 kHz
Método de Acesso	TDMA (4 <i>slots</i> por canal de 25 kHz)
Potência de transmissão (estação base)	Até 40 Watts
Potência de transmissão do terminal portátil	Até 1,8 Watts
Potência de transmissão do terminal móvel	Entre 3 e 10 Watts
Frequência de Operação	380 - 460 MHz/ 800MHz
Modo de operação	Digital
Comunicação	<i>Half-Duplex/Full-Duplex</i>
Mensagens de texto	Até 1000 caracteres
Taxa de transmissão de dados	7,2 Kbps por <i>slot</i> (sem proteção)
Criptografia	TEA1, TEA2, TEA3 e TEA4, AES e DES

Fonte: Adaptado de Ulema (2019).

Abaixo, na Figura 2, é possível visualizar a arquitetura da série de interfaces TETRA .

Figura 2 - Arquitetura de uma rede TETRA



Fonte: Dunlop (2000 apud RIBEIRO, 2016, p. 24).

Conforme explica Ribeiro (2016), por meio da Figura 2, a arquitetura TETRA apresenta uma série de interfaces, as quais são descritas abaixo:

- **I1 - Interface aérea de rádio:** a interface aérea assegura a interoperabilidade entre os terminais portáteis, móveis fixos, com a BTS TETRA;
- **I2 - Line Station Interface:** Interface destinada aos terminais que são interligados com a infraestrutura do sistema por meio de rede cabeada, como as consoles de despacho, por exemplo;
- **I3- Intersystem Interface:** Permite a interconexão entre redes TETRA de diferentes fabricantes;
- **I5 - Interface de Gerenciamento de Rede:** Padroniza os equipamentos de gerenciamento de rede para permitir a operação na rede TETRA;
- **I6 - Direct Mode Interface (DMO):** Define os parâmetros para a operação do modo direto entre os terminais;
- **I7 - Peripheral Equipment Interface (PEI):** Interface que permite a conexão de equipamentos periféricos aos terminais. Permite a interligação de um terminal de dados

a uma rede móvel ou a uma estação fixa e, através dela, acessar uma rede TETRA. Como exemplo de “PEI” podemos citar o Bluetooth;

- **Public Switched Telephone Network (PSTN):** Representa a Rede Pública de Telefonia Comutada que é interligada à rede TETRA via Gateway.

De acordo com Ribeiro (2016, p.24) e Dunlop (2000) descreve-se a arquitetura da rede TETRA da seguinte maneira:

Resumindo, na arquitetura básica de uma rede Tetra, tem-se um Computador Central – Main Switching Centre (MSC) responsável pela gestão de todos os Computadores Locais - Local Switching Centre (LSC), permitindo a interligação do domínio Tetra com outros domínios através de seus respectivos gateways.

[...] o MSC encontra-se também ligado aos Sistemas de Gerenciamento da Rede - Network Management (NM), de Usuários - Subscriber Management (SM) e ao Centro de Operações e Manutenção - Operations and Maintenance Centre (OMC). Como se percebe, os comutadores LSC desempenham funções de interligação com uma ou várias Estações Base Transceptoras - Base Transceiver Station (BTS), conforme a abrangência da rede, e contém uma base de Dados Local - Location Register (LR) onde se encontra armazenada a informação relativa à localização dos diversos terminais móveis, de modo a ser possível o encaminhamento das chamadas.

A BTS provê as conexões na interface aérea com as estações, sendo constituída basicamente por equipamentos de radiofrequência (RF) como: transceptores, combinadores, multiacopladores, osciladores, amplificadores, splitters (ou divisores de potência), duplexadores e pelas antenas. (DUNLOP, 2000).

A Infraestrutura de Gerenciamento e Comutação, Switching and Management Infrastructure (SwMI) é usada para classificar todo equipamento e subsistemas que compreendem uma rede Tetra, tais como a BTS, nó de comutação e controle, base de dados, gateways, torre ou mastro, cabos, estruturas de acomodação de cabos de RF, telemática, infraestrutura civil (abrigo ou Shelter), elétrica e de climatização. A SwMI também é análoga à definição de Estação Rádio Base (ERB) ou Site Celular dos sistemas de telefonia móvel celular. (RIBEIRO, 2016, p. 24).

Além das interfaces acima descritas, existe a Trunked Mode Operation (TMO), a qual, segundo Ulema (2019), juntamente com a DMO (Direct Mode Operation), correspondem às duas operações fundamentais envolvendo as estações base e as estações móveis.

Ulema (2019, p. 92, tradução livre) define as operações TMO (Modo de Operação Troncalizado) como: “**Trunked Mode Operation (TMO):** A interface aérea nesta operação refere-se à interface de rádio entre uma estação base e as estações móveis se comunicando por meio da estação base.”

O DMO (Modo de Operação Direto) como: “**Direct Mode Operation (DMO):** A interface aérea nesta operação refere-se à interface de rádio entre duas estações (terminais) móveis se comunicando diretamente sem envolver nenhuma estação base.” (ULEMA, 2019, p. 92, tradução livre).

Segundo Wellish (2012, p. 14) o TETRA “[...] permite a comunicação entre as diversas estações móveis mesmo em situações onde não há cobertura direta de uma ERB, ou seja,

permite que haja comunicação mesmo que o móvel não esteja acessando a rede TMO, a qual faz parte diretamente.”

Este modo de operação se utiliza de canais específicos, distintos dos troncalizados, e a operação é normalmente realizada no modo simplex. A cobertura típica em área urbana é de 400 metros, com tempo máximo de realização de procedimentos de chamada de 150 ms (WELLISH, 2012).

De acordo com Ulema (2019, p. 92, tradução livre, grifos nosso) o TETRA identifica os seguintes cenários para a operação em modo direto (DMO):

- **Cenário Básico:** Este cenário inclui as chamadas individuais, chamadas em grupo, e chamadas em broadcast.
- **Dual Watch:** Enquanto o terminal está em DMO, o canal de controle do TMO é monitorado. Da mesma maneira, quando o terminal está em TMO os canais DMO são monitorados.
- **Managed Direct Mode:** Este modo envolve uma operação gerenciada (autorizada). O terminal periodicamente envia sinais de autorização para a rede.
- **Modo Repetidor:** Neste cenário, o terminal age como uma repetidora que pode suportar duas chamadas simultaneamente ou uma única chamada com frequências diferentes para transmissão e recepção, ou usando as duas frequências para transmitir e receber.
- **Modo Gateway:** Neste cenário o terminal se conecta a outros terminais, operando em modo direto e em modo troncalizado.
- **Managed Repeater, Gateway ou ambos combinados:** Neste cenário o terminal envia sinais de autorização para a rede para ser usado no modo repeater ou gateway.

2.5 PADRÃO DMR

No ano de 2005 foram estabelecidas as bases para a criação da associação DMR, quando um grupo de fabricantes assinaram um memorando de intenções para o apoio ao ETSI no estabelecimento do projeto DMR como uma nova solução digital de padrão aberto (ABREU, 2015).

O DMR é um padrão aberto de rádio digital especificado no ETSI para usuários de Rádio Móvel Privado (PMR). O DMR é usado na Europa e em várias outras regiões do mundo como um sistema de rádio básico de baixo custo para uso comercial e de segurança pública. O padrão foi publicado em 2005 e tem sido adotado por muitas fabricantes e usuários de rádio (principalmente para aplicações comerciais). Os produtos construídos com o padrão DMR também estão em conformidade com a Comissão Federal de Comunicações (FCC) dos EUA para o uso e certificação de tecnologia de banda estreita de 12,5 kHz e 6,25 kHz (ULEMA, 2019).

O DMR foi projetado para substituir os sistemas analógicos, contendo todos os benefícios das soluções digitais (ULEMA, 2019). O padrão DMR fornece eficiência espectral

melhorada em relação ao sistema analógico, controle de voz avançado e serviços de dados IP integrados em bandas licenciadas para comunicações de alta potência, adequadas à profissionais de missão crítica e operação crítica (ONALI; SOLE; GIUSTO, 2011).

Muitas redes de rádio DMR têm sido construídas na Europa, como a rede de emergência para os bombeiros no túnel ferroviário de Lötschberg (com 34 Km de comprimento, coberto por 26 estações base interconectadas por linhas multiplexadas) ou a rede VHF com *links* (enlaces) UHF para a Polícia Rodoviária no Noroeste da Itália (ONALI; SOLE; GIUSTO, 2011).

Segundo Ulema (2019, p. 108, tradução livre), o “DMR é mais adequado para grandes áreas rurais (ou suburbanas) e com pouco tráfego onde simulcast e broadcast funcionam melhor. O objetivo do DMR é prover sistemas digitais acessíveis com complexidade relativamente baixa.”

2.5.1 O DMR em Santa Catarina

Em Santa Catarina, um conhecido caso de implantação bem-sucedida de sistema de radiocomunicação digital no padrão DMR foi o da Celesc Distribuição S.A. Em 2013 a distribuidora de energia iniciou um projeto de implantação do sistema DMR, que foi concluído em 120 dias, segundo a Motorola Solutions (2018). A instituição possui 65 estações base instaladas ao longo do território catarinense, que atendem a 16 microrregiões que antes operavam isoladas, sem a possibilidade de serem interligadas ou controladas remotamente. A instalação de uma rede de rádio digital permitiu, também, a criação de uma central de atendimento para onde as chamadas dos solicitantes podem ser direcionadas em horários de menor demanda, desativando, assim, as centrais regionais nesses horários, reduzindo custos.

No CBMSC foi confeccionado junto à empresa DRJ Radiocomunicação um projeto que prevê a instalação de 114 estações base, operando na faixa VHF. Em tal projeto, além de contemplar os pontos onde as estações serão instaladas, também foram realizados estudos de cobertura e confeccionado um mapa de mancha de cobertura radioelétrica, bem como foram dimensionados os *links* (enlaces) necessários entre as repetidoras (CBMSC, 2019). A proposta do projeto do CBMSC é a implantação de uma rede DMR com cobertura estadual, sendo que a Corporação possui, atualmente, 13 repetidoras DMR instaladas, todas operando em modo analógico.

No Estado de Santa Catarina existem ainda, conforme levantamento realizado pelo autor, diversas instituições, tais como guardas municipais, órgãos de defesa civil, serviços

médicos de urgência e associações de bombeiros voluntários, que utilizam a tecnologia DMR. Segue, abaixo, algumas delas:

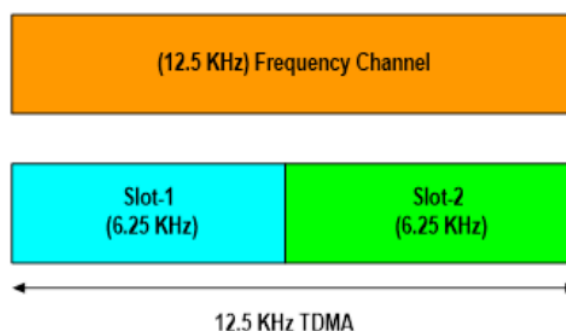
- SAMU (8 repetidoras adquiridas, sendo: cinco na Grande Florianópolis, duas em Xanxerê e uma em Porto União);
- Defesa Civil (cinco repetidoras: Brusque, Florianópolis, Itajaí e duas em Blumenau);
- Guardas de Trânsito (três repetidoras no município de Blumenau, uma em Itajaí, uma em Brusque e uma em Balneário Camboriú).

5.5.2 Aspectos Técnicos do Sistema DMR

O padrão DMR utiliza uma técnica de multiplexação TDMA que divide um canal de 12,5 kHz de largura de banda em dois canais lógicos de 6,25 kHz, criando um canal com dois *slots*. No DMR cada *slot* pode ser alocado separadamente para dois diferentes usuários na mesma repetidora e ao mesmo tempo, ou seja, o mecanismo de dois *slots* permite que uma única repetidora forneça dois canais de voz a dois usuários diferentes na mesma rede de rádio e ao mesmo tempo. Outra maneira de empregar os dois *slots* é utilizar o primeiro *slot* para voz e o segundo para GPS ou aplicações de dados, por exemplo (QADDUS, 2016).

A Figura 3, a seguir, mostra o mecanismo de divisão do canal em 2 *slots*:

Figura 3 - Mecanismo de divisão do canal em 2 *slots* no padrão DMR



Fonte: Qaddus (2016).

Conforme explica Ulema (2019) o protocolo DMR possui três modos de operação (padrões DMR): Tier I, Tier II e Tier III. Esses modos são descritos na sequência.

- **Tier I (Sem licença):**

O padrão DMR Tier I foi projetado para aplicações comerciais de baixa potência, como o uso privado ou em pequenas instalações. Nesse padrão, os rádios operam na banda de 466MHz e com uso não licenciado. Ele não necessita de nenhuma repetidora (estação base), pois não foi projetado para fornecer comunicação a uma rede de grande área (QADDUS, 2016).

- **Tier II (Convencional):**

O padrão DMR Tier II foi projetado para sistemas de rádio convencionais, que operam em uma banda entre 66 e 960 MHz. Neste padrão, são implantadas repetidoras (estações base) para atender a necessidade de prover comunicação a uma rede de rádio de área ampla. O principal objetivo do Tier II é prover serviços IP integrados e eficiência espectral para usuários de terminais portáteis, móveis e fixos através de repetidoras (estação base) de alta potência. O padrão de nível II foi criado para cobrir a área de uma grande instalação ou uma ampla área urbana (QADDUS, 2016).

- **Tier III (Troncalizado ou trunking):**

O padrão DMR Tier III foi projetado para sistemas de rádio troncalizados (trunking) operando na banda entre 66 e 960 MHz. As repetidoras são conectadas uma a outra por meio de redes IP, que podem ser sistemas de fibra ótica ou enlaces de micro-ondas. Os terminais podem passar de uma área de cobertura para outra, sem perder a comunicação, devido ao entroncamento da rede IP. O Tier III oferece os serviços de voz, mensagem SMS com 128 caracteres, e serviços de dados com pacotes de 288 *bits* nos protocolos IPv4 e IPv6 (QADDUS, 2016).

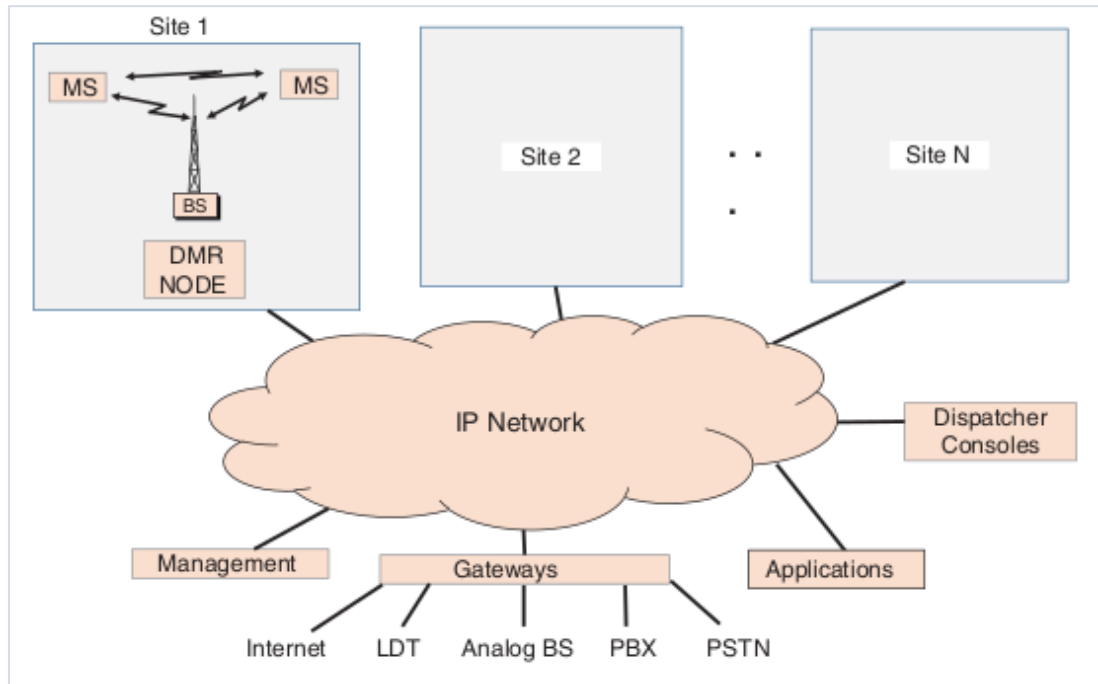
O padrão Tier III é também usado em aplicações militares, sendo que os rádios são fabricados de acordo com os padrões militares norte-americanos 810. O protocolo DMR permite ainda o uso de criptografia para possibilitar comunicação sigilosa, segundo o mencionado autor.

Ulema (2019) informa que o Tier III inclui recursos completos de *trunking* entre os sites, bem como interfaces para redes telefônicas e outros tipos de redes. Além disso, cada site é capaz de funcionar independentemente, o que é uma capacidade crítica de fornecer continuidade de comunicação mesmo quando os enlaces para outros sites.

A arquitetura da rede DMR é relativamente simples, se comparada a outras tecnologias de radiocomunicação digital de banda estreita. Logicamente, a complexidade da arquitetura depende muito do padrão adotado (Tier I, Tier II ou Tier III). Os documentos do padrão DMR não fornecem uma imagem explícita da arquitetura DMR, porém a

Figura 4, a seguir, mostra uma arquitetura genérica que mostra os componentes envolvidos nas redes DMR Tier II e III.

Figura 4 - Arquitetura de referência do DMR



Legendas:

BS: Estação Base

MS: Estação Móvel

LDT: Linha para Terminal de Despacho

PBX: Private Branch Exchange

PSTN: Rede Telefônica Pública Comutada

Fonte: Ulema (2019).

De acordo com Ulema (2019) algumas características importantes do padrão DMR são:

- Interface aérea criptografada;
- Autenticação de uma via;
- Voz e pacotes de dados integrados;
- Permite até 1200 usuários em um único site (alguns fabricantes permitem até 3000);
- Permite até 15 sites interligados (alguns fabricantes permitem até 250);
- Chamadas telefônicas *half-duplex* (semi-duplex);
- *Roaming*;
- Chamada prioritária;
- Modo analógico;

Geo-Redundância Manual. Quadro 3, a seguir, algumas características do protocolo DMR.

Quadro 3 - Características Técnicas do Padrão DMR

Características	Valores
Organismo de Padronização	ETSI
Largura de banda do canal	12,5 kHz
Largura de banda efetiva de comunicação	6,25 kHz
Método de Acesso	TDMA (2 <i>slots</i> por canal de 12,5 kHz)
Potência de transmissão (estação base)	Até 100 Watts
Potência de transmissão do terminal portátil	Até 5 Watts
Potência de transmissão do terminal móvel	Entre 50 Watts
Frequência de Operação	66 - 960 MHz
Modo de operação	Analógico e Digital
Comunicação	Half-Duplex
Mensagens de texto	Mensagens curtas de até 40 caracteres
Taxa de transmissão de dados	9,6 Kbps
Criptografia	AES128 e AES256

Fonte: Adaptado de Ulema (2019).

3 REQUISITOS TÉCNICO-OPERACIONAIS PARA O SISTEMA DE RADIOCOMUNICAÇÃO DO CBMSC

Avaliando as necessidades de comunicação da Corporação e analisando proposições apresentadas por empresas especializadas na área de radiocomunicação, a DiTI incluiu na Projeto de Radiocomunicação Digital para o CBMSC os seguintes requisitos técnicos e operacionais necessários ao Sistema de Radiocomunicação Digital:

- Cobertura do sinal radioelétrico em todo o território atendido pelo CBMSC;
- Enlaces IP com rede privada operando em 4,9 GHz, com possibilidade de implementação futura de modo troncalizado;
- Transmissão de sinais digitalizados;
- Serviços de avançados de voz (chamada em grupo, chamada entre terminais e chamada *broadcast* e função *roaming*);
- Interoperabilidade entre terminais de diversos fabricantes, possibilitando a competitividade entre os fabricantes e fornecedores de terminais;
- Compatibilidade com o sistema analógico atual que opera na faixa de VHF, possibilitando que os atuais terminais analógicos operem na infraestrutura do novo sistema, aproveitando assim os investimentos realizados nos últimos anos;
- Operação na faixa de frequência VHF compreendida entre 149 e 174 MHz;
- Interoperabilidade entre os rádios digitais e os atuais rádios analógicos, em nível de terminal;
- Sigilo básico nas comunicações;
- Homologado e/ou certificado pela Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL);
- Implementação viável financeiramente para o CBMSC.

4 ANÁLISE DOS REQUISITOS

A escolha de um padrão de radiocomunicação digital, como explica Ludolf (2011), deve levar em conta não apenas as características técnicas disponibilizadas, mas sobretudo quais são as características que possuem importância para o usuário da rede, bem como, a relação custo benefício do sistema, e principalmente as condições financeiras, não somente para adquirir o sistema, mas, principalmente, qual a previsão do custo de manutenção deste sistema e de sua infraestrutura dentro do ciclo de vida planejado.

Sendo assim, será realizada, a seguir, uma análise dos principais requisitos necessários ao CBMSC para um Sistema de Radiocomunicação Digital.

4.1 INTEROPERABILIDADE

De acordo com Morris et al. (2004, p. 3, tradução livre), “É necessário definir com precisão a interoperabilidade, pois o termo pode ter várias interpretações em diferentes contextos.” Em que algumas dificuldades associadas à definição de interoperabilidade se refletem nas muitas definições existentes. Por exemplo, o IEEE possui quatro definições de interoperabilidade, como descrito abaixo:

1. A capacidade de dois ou mais sistemas (ou elementos) de trocar informações e usar as informações que foram trocadas;
2. A capacidade de unidades de equipamentos trabalharem juntas para executar funções úteis;
3. A capacidade promovida, mas não garantida, pela conformidade de um determinado conjunto de padrões, que permite que equipamentos heterogêneos, geralmente construído por diversos fabricantes, trabalhem juntos em um ambiente de rede;
4. A capacidade de dois ou mais sistemas, ou componentes, de trocar informações em uma rede heterogênea e usar essas informações.

Segundo Ulema (2019, p. 10, tradução livre), “A palavra interoperabilidade é carregada.” Sua definição mais abrangente inclui, de acordo com o autor, “Governança, procedimentos operacionais padrão, tecnologia, treinamento e uso de comunicações interoperáveis.”

A interoperabilidade em radiocomunicação pode ser vista sob vários aspectos, sendo que os mais importantes são: a interoperabilidade entre os equipamentos dos diversos fabricantes e a interoperabilidade entre agências. Esses dois tipos de interoperabilidade são

classificados por UTC (2015) como: Interoperabilidade intrassistemas (intra-system interoperability) e interoperabilidade intersistemas (inter-system interoperability).

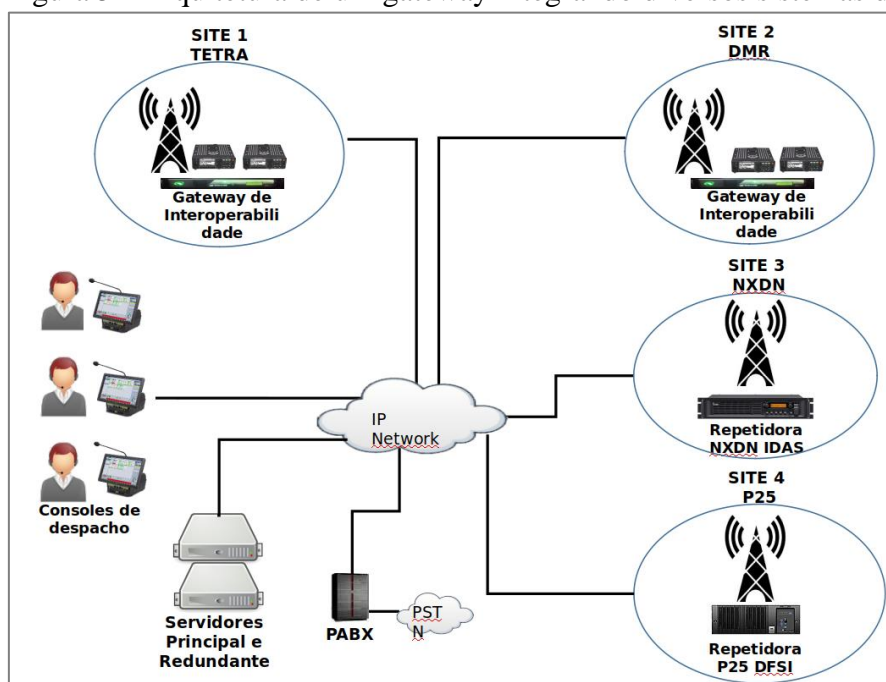
4.1.1 A interoperabilidade entre agências

A interoperabilidade permite a comunicação instantânea entre os agentes de múltiplas organizações como, por exemplo, a Polícia Militar, a Polícia Civil, o Corpo de Bombeiros, a Defesa Civil, entre outras. A interoperabilidade pode ser feita por meio de equipamentos externos, conectando rádios de diferentes fabricantes e tecnologias, ou quando várias agências utilizam o mesmo padrão de equipamentos, mesmo sendo de diferentes fabricantes, sendo esta última considerada a forma mais eficiente (POLÍCIA MILITAR DE MINAS GERAIS, 2013).

Uma das maneiras mais eficientes de se implementar a interoperabilidade entre agências é fazendo com que todas elas utilizem o mesmo padrão de radiocomunicação, assim garante-se que, por meio de grupos específicos as agências possam se comunicar. Por certo, a desvantagem dessa estratégia é não poder utilizar soluções específicas para cada caso, forçando todo o conjunto para a solução que abranja todas as situações, o que, em geral, encarece o todo.

Contudo, mesmo que sejam adotados padrões diferentes, a interoperabilidade entre agências também é possível em razão de tecnologias que permitem conectar as redes de rádio. Um exemplo são os *gateways* de interoperabilidade que, conectados à consoles de despacho na central de atendimento a emergências, permitem a interligação de duas ou mais redes de rádio de padrões diferentes. A Figura 5, a seguir, mostra a arquitetura básica de funcionamento de um gateway de interoperabilidade conectando redes de rádio diferentes.

Figura 5 - Arquitetura de um gateway integrando diversos sistemas de rádio



Fonte: Documentos da Remota Tec (2019).

Os *gateways* de interoperabilidade “[...] utilizam o mesmo protocolo para tradução de voz e de dados. Isto facilita a comunicação entre rádios e protocolos com tecnologias diferentes.” (ULEMA, 2019, p. 52, Tradução livre).

4.1.2 Interoperabilidade entre fabricantes

Do ponto de vista da comunicação, a palavra “interoperabilidade” é usada para significar que, para um determinado padrão de tecnologia, os componentes construídos por diferentes fabricantes se comunicam. Por exemplo, uma agência que instala uma rede baseada na tecnologia P25 e que adquire equipamentos dos fornecedores X e Y, deseja alguma garantia de que estes equipamentos, fornecidos por dois fabricantes diferentes, funcionem quando conectados. Isso geralmente é verificado por um conjunto de testes de conformidade (ULEMA, 2019).

Para garantir a interoperabilidade entre diferentes fabricantes, as organizações responsáveis definem testes exaustivos de compatibilidade dos recursos disponíveis no sistema (POLÍCIA MILITAR DE MINIAS GERAIS, 2013).

Por serem tecnologias mais antigas, o P25 e o TETRA têm planos de testes de interoperabilidade consideravelmente melhores, permitindo que os fornecedores testem a funcionalidade básica de voz e dados nas plataformas. Como os fabricantes, normalmente,

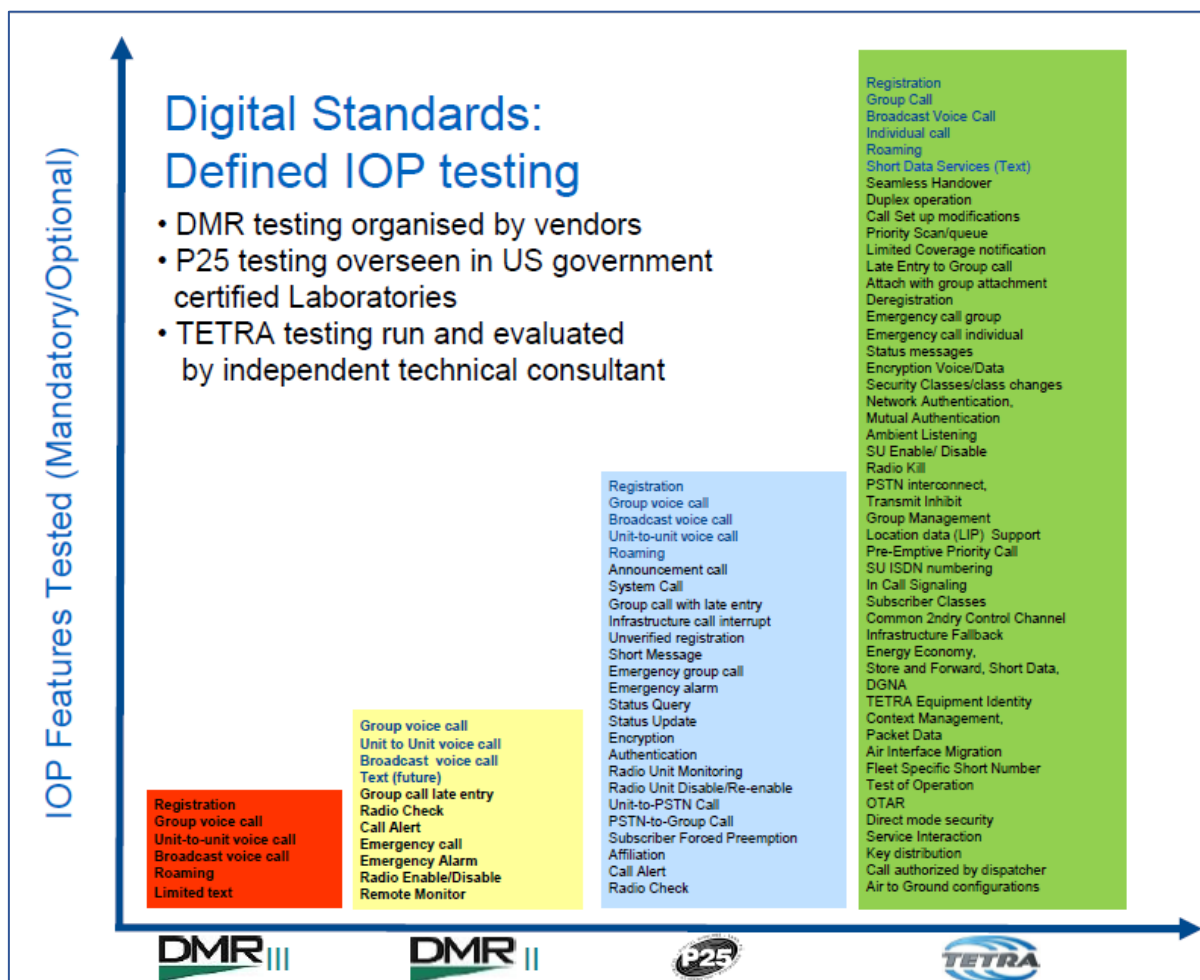
criam aprimoramentos ao padrão para atender as funcionalidades solicitadas por clientes específicos que fazem parte do padrão, os recursos aprimorados não seriam suportados em todas as plataformas. Todos os fornecedores oferecem alguns recursos “acima do padrão” em seus produtos e é importante ter um entendimento claro desses recursos para garantir que as expectativas de interoperabilidade sejam definidas corretamente (UTC, 2015).

Nos padrões P25 e TETRA a interoperabilidade é imposta por meio de um organismo de padrões independente, o qual testa o equipamento para garantir a interoperabilidade. Nesse sentido, UTC (2015, p. 25, tradução livre) explica que

Um processo formal de teste de certificação foi definido para o P25 chamado CAP testing (Programa de Avaliação de Conformidade), executado pelo Departamento de Comércio e baseado em regras estabelecidas pela TIA (Telecommunications Industry Association). Dos três padrões, o P25 possui o processo de interoperabilidade mais maduro e abrangente. Alguns fornecedores criaram laboratórios para a realização de testes de interoperabilidade, onde os concorrentes podem agendar um horário para realizar testes de interoperabilidade. Geralmente, esses padrões e testes garantem que um conjunto robusto de recursos seja implementado de maneira comum e interoperável entre os fornecedores. A Associação TETRA possui um processo de Certificação de Interoperabilidade muito maduro e bem definido, com planos de teste detalhados, permitindo que os fornecedores realizem testes de interoperabilidade muito específicos e abrangentes. A DMR Association criou o DMR Interoperability Process (IOP), que fornece testes de interoperabilidade. No entanto, a conformidade é específica do fornecedor e a amplitude, profundidade e maturidade geral do processo ainda não atingem os níveis de interoperabilidade P25 ou TETRA.

É importante mencionar que nenhum dos três padrões (P25, DMR e TETRA) possui interoperabilidade entre as estações base, ou seja, independentemente do padrão escolhido, se for instalada uma repetidora de um determinado fabricante, todas as demais terão que ser do mesmo fabricante para que elas possam se comunicar. Isso porque cada fabricante possui o seu protocolo próprio de comunicação entre as estações base. Por outro lado, os terminais podem apresentar maior ou menor grau de interoperabilidade de acordo com o padrão escolhido. Existem alguns recursos que são mandatórios, ou seja, deve haver obrigatoriamente interoperabilidade entre as funcionalidades dos equipamentos com os dos demais fabricantes. Também existem os recursos chamados opcionais, o que significa que o fabricante pode oferecer a interoperabilidade destas funcionalidades com outros fabricantes, ou pode utilizar seu próprio protocolo. A Figura 6, a seguir, mostra as funcionalidades já submetidas a testes de interoperabilidade dos principais padrões de radiocomunicação digital.

Figura 6 - Interoperabilidade: Funcionalidades Testadas – DMR



Fonte: Motorola (2014).

De acordo com a Figura 6 acima, observa-se que os padrões TETRA e P25 possuem uma quantidade maior de funcionalidades testadas funcionando entre vários fabricantes, enquanto o DMR garante apenas funcionalidades de voz e texto, as demais funcionalidades não são garantidas, ficando a critério de cada fabricantes.

4.1.3 Interoperabilidade entre tecnologias

Além da interoperabilidade entre produtos dos diversos fabricantes, é desejável também a interoperabilidade entre tecnologias. O CBMSC possui um legado tecnológico do sistema de rádio analógico com muitos terminais portáteis, móveis e fixos, ainda em operação. Um padrão de rádio digital, que permita a utilização dessa tecnologia legada, facilitaria muito a migração do sistema analógico para o digital, visto que a mudança de tecnologia poderia ser feita de maneira gradual, operando em modo analógico, até a completa implantação do sistema digital, e aproveitando os terminais existentes. Um exemplo dessa forma de migração é o sistema de

rádio instalado no 6º BBM, em que as repetidoras são do padrão digital DMR, porém operam em modo analógico.

De acordo com UTC (2015) os padrões P25 e DMR foram construídos sobre uma base em que é necessária a compatibilidade com os sistemas analógicos e convencionais. Com isso, é possível que o P25 e o DMR tenham alguma interoperabilidade entre sistemas analógicos de fornecedores diferentes. O TETRA, por sua vez, não suporta esses modos e não oferece interoperabilidade para os esses sistemas legados.

4.2 ÁREA DE COBERTURA

O Estado de Santa Catarina possui um território com topografia acidentada, e boa parte do estado é composta de morros, serras e vales. Tal característica impacta diretamente no número de repetidoras necessárias para cobrir o território estadual, bem como requer o correto dimensionamento da faixa de frequência e potência de transmissão.

Qaddus (2016, p. 50, tradução livre) informa que “[...] em relação à área de cobertura de uma rede de rádio, a obstrução causada pela vegetação ou pela topografia física de uma região resultará em uma comunicação pobre ou na falha da comunicação da rede.”

Segundo Ludolf (2011, p. 27) “Quanto menor a frequência de operação, maior será a área de cobertura de cada sítio, ou seja, serão necessário menor investimento em infraestrutura, isto se o custo de cada site fosse similar para cada padrão, no entanto o custo de cada site varia de acordo com o projeto e padrão da rede.” Dessa maneira, sistemas que utilizam banda de VHF (frequências menores) possuem área de cobertura maiores do que sistemas que utilizam banda UHF (frequências maiores).

A área de cobertura determina a quantidade de repetidoras (sites) a serem instaladas. Acerca desse assunto Ludolf (2011, p. 28) afirma que

Existe um custo mínimo necessário para ativação de um site, tendo em vista ser necessário prever a compra ou locação de um terreno, a construção de uma torre, construção de um abrigo para guardar os equipamentos, compra de geradores e banco de baterias, gastos para manutenção das instalações e pagamento da conta de energia elétrica. Todos estes custos são independentes do equipamento que será instalado no local. Quanto maior a quantidade de sites, maior serão os custos, porque nem todos os locais considerados tecnicamente ideais para instalação do site, poderão receber esta infraestrutura. Os sites são ativados onde é possível e não onde deveriam ser instalados, tornando-se necessário ativar mais sites do que o previsto no projeto original.

Sendo assim, deve-se considerar ao escolher a tecnologia para utilizar que a maior quantidade de sítios implica em mais torres a serem implantadas (maior dificuldade na obtenção de locais para a implantação e obtenção das licenças ambientais); maior quantidade de infraestrutura (estações rádio bases, contêineres/abrigos, ar condicionados, antenas e outros acessórios); maiores gastos com energia elétrica, com manutenções periódicas e corretivas; mais mão de obra especializada e disponível; e mais locais para gerenciar e prover segurança.

Ao comparar as três tecnologias, verificou-se que os padrões P25 e DMR apresentam características similares em termos de potência e banda de frequência de operação, possuindo áreas de cobertura equivalentes. Por outro lado, o padrão TETRA foi projetado focando seus esforços na capacidade de tráfego e não na área cobertura. Segundo UTC (2015) o TETRA é um projeto celular de baixa potência e site pequeno em comparação com tecnologias como P25 e DMR. Implantar um sistema TETRA em uma rede que precisa cobrir uma área muito ampla pode ser desafiador, pois requer aproximadamente 20 canais para fazer um plano de reutilização. Devido ao fato de possuir uma potência menor e um site com cobertura menor, assim como a faixa de frequência, o sistema TETRA poder exigir de 2 a 4 vezes o número de sites de um sistema P25 ou DMR.

Geralmente, há uma troca de cobertura por capacidade. Se a cobertura for o principal requisito, sistemas de alta potência, como P25 ou DMR, exigirão menos sítios que o TETRA e se mostrarão uma opção de custo geral mais baixa. Os rádios portáteis TETRA típicos têm potências RF que variam entre 1 W a 1,8W, embora o padrão suporte até 3 W. Os rádios portáteis P25 e DMR comparáveis possuem potências RF de 5 a 6 W em VHF / UHF e 3 W nas bandas mais altas (700/800/900 MHz). A diferença é ainda mais significativa em rádios móveis. Os terminais TETRA são tipicamente 3W de potência RF, enquanto que os terminais P25 e DMR suportam até 50 W, com a maioria das implementações utilizando de 25 a 30W. (UTC, 2015, p. 20, tradução livre).

O CBMSC iniciou, em 2016, um estudo de radiocomunicação digital, no qual foram analisadas as necessidades de comunicação de cada batalhão. Uma empresa especializada foi contratada para a realização do projeto que incluía a determinação dos locais de instalação das repetidoras, a altura e posicionamento (azimute) dos enlaces (links) entre as repetidoras e a elaboração de mapas de previsão de cobertura.

O Quadro 4, a seguir, apresenta os parâmetros utilizados para elaboração do projeto de radiocomunicação digital do CBMSC em 2016.

Quadro 4 - Parâmetros do Projeto - 2016

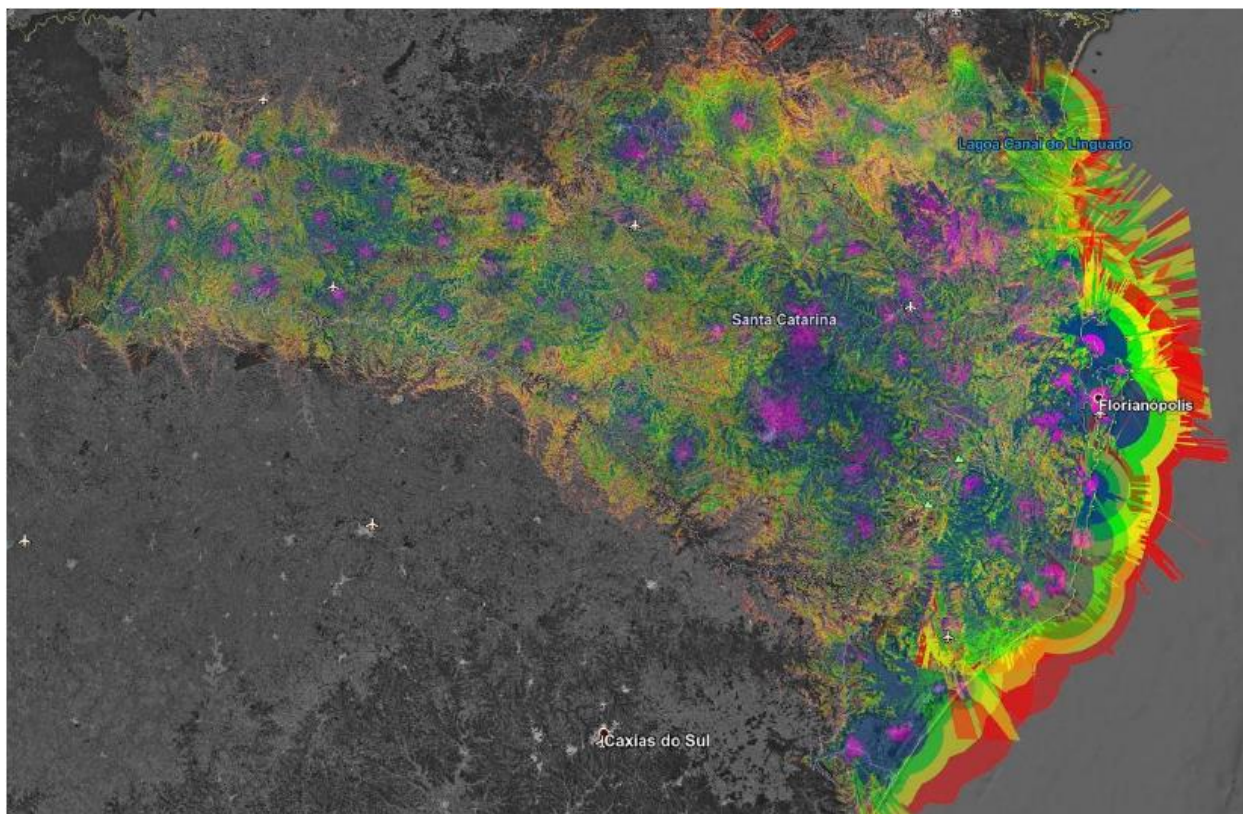
Modo Operacional Referencia	Digital
Modulação	Digital TDMA
Modo Operacional Referência	Digital
Modulação	Digital TDMA
Potência da Repetidora	45 W
Integração Estadual (Futuro)	DMR <u>Tier III</u>
Corte de Sensibilidade RX Site p/ Unid. Móvel	-112 <u>dBm</u>
Potência configurada na unidade móvel	45 W
Faixa de Frequência	VHF
Ganho da antena da Repetidora	6 <u>dBd</u> (8dBi)
Ganho da antena da unid. Móvel	Unitário
Padrão de qualidade Digital	DAQ3
Altura da antena da repetidora	Entre 20m e 50m
Padrão de atenuação de sinal	Padrão "Open" em todas as repetidoras
Margem de atenuação	10dB

Fonte: CBMSC (2019).

De acordo com os parâmetros utilizados, considerou-se a utilização de um sistema de radiocomunicação operando na faixa de frequência VHF, com a potência de transmissão de RF da repetidora de 45 Watts e antena com ganho de 8 dBi, e no terminal móvel potência RF definida como 45 Watts e antena de ganho unitário. O padrão de atenuação do sinal definido foi o "Open", ou seja, propagação em área aberta (rural). Considerou-se ainda na modulação o uso de modo Digital TDMA. Tais parâmetros podem ser aplicados tanto ao padrão digital DMR como ao P25, visto que ambos possuem características semelhantes em relação a potência RF e faixa de frequência utilizada.

A Figura 7, a seguir, mostra a previsão de cobertura do projeto de radiocomunicação digital VHF elaborado para o CBMSC.

Figura 7 - Mapa de previsão da cobertura DMR/P25 em Santa Catarina



- Legenda:
- Excelente
 - Ótimo
 - Bom
 - Razoável
 - Insuficiente
 - Inexistente

Fonte: CBMSC (2019).

Anteriormente, no ano de 2012, a SSP/SC realizou o pregão N° 054/SSP/2012 para contratação de uma empresa especializada em radiocomunicação para a realização de levantamento de dados em campo e a elaboração dos mapas de previsão de cobertura. O Quadro 5, a seguir, apresenta os parâmetros utilizados.

Quadro 5 - Parâmetros utilizados para elaboração do projeto de radiocomunicação digital da SSP/SC - 2012

Modo Operacional Referência	Digital
Modulação	Digital TDMA
Potência da Repetidora	25 Watts
Integração estadual	TETRA
Corte de sensibilidade RX Site p/ Unidade Portátil	-105 dBm (contemplando transmissão de voz e dados)
Potência configurada no terminal portátil	1,8 Watts
Faixa de frequência	UHF (380 MHz)
Ganho da antena de repetidora	6dBd
Ganho da antena do terminal portátil	Unitário
Altura da antena da repetidora	-
Padrão de atenuação do sinal	-
Margem de atenuação	-

Fonte: DRJ Radiocomunicação (2012).

A simulação de cobertura do sistema TETRA foi realizada, à época, conforme os parâmetros especificados no contrato Nr 128/SSP/2012, que definia como padrão os parâmetros que estão nas normas ETSI do protocolo TETRA, dentre os quais: potência do terminal de 1,8 Watts e nível de sinal de 105 dBm, contemplando a possibilidade de transmissão de dados. Além disso, os parâmetros do projeto visavam uma cobertura predominantemente urbana, em detrimento da região rural. Contudo o estudo não foi aproveitado de imediato.

Entretanto, em razão do ACT entre a SSP/SC e a PRF, a PMSC utilizou o estudo de previsão de cobertura realizado em 2012 como referência e começou a refazer os mapas de cobertura, considerando as estações base caso a caso, conforme iam sendo instaladas novas repetidoras, ou seja, as simulações são realizadas individualmente a cada novo site. A fim de ampliar a área de cobertura foram adotados para as simulações parâmetros menos robustos, como potência RF dos terminais de 3 Watts (terminal portátil) a 10 Watts (terminais móveis), e o nível de sensibilidade foi reduzido para -115 dBm. Com isso, os novos estudos da PMSC

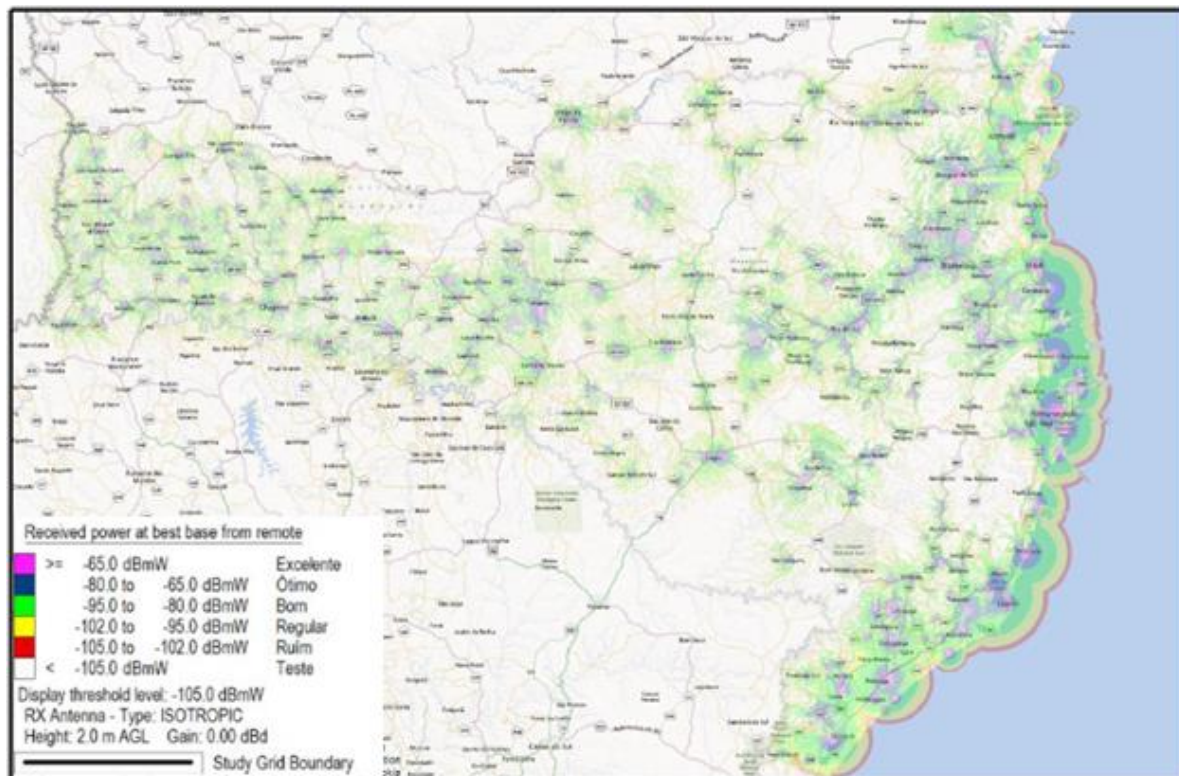
consideram a cobertura com terminais móveis e portáteis (não apenas portáteis, como no projeto inicial) e contempla mais o tráfego de voz em detrimento dos dados.

Outro recurso que o sistema TETRA possui é a diversidade espacial. Esse recurso consiste em adicionar mais antenas ao sistema de recepção, de maneira a aumentar a sensibilidade do sistema ao sinal radioelétrico reduzindo as perdas por desvanecimento. Dessa maneira, a sensibilidade ao sinal no módulo de recepção pode aumentar em até 3 dB. O padrão TETRA diversidade espacial pode ser dupla ou tripla, ou seja, duas ou três antenas no módulo receptor e uma no módulo transmissor. A diversidade espacial é explicada, a seguir, por Santos (2005, p. 21).

O desvanecimento é uma das mais severas distorções introduzidas no canal. [...] Existem métodos para minimizar a influência do desvanecimento no desempenho do sistema. Se for possível receber almas réplicas do sinal transmitido de diferentes canais, há probabilidade alta de que pelo menos uma das transmissões apresente um sinal com boa qualidade no receptor. A diversidade em comunicações móveis pode ser aplicada tanto no transmissor quanto no receptor. A combinação adequada dos sinais recebidos, vindos de diferentes canais constitui a diversidade de recepção. [...] A diversidade espacial na recepção consiste na combinação adequada dos sinais recebidos por pelo menos duas antenas., localizadas no receptor e separadas no espaço.

A Figura 8, a seguir, apresenta o mapa de previsão de cobertura do sistema TETRA realizado para a SSP/SC e entregue em 2013.

Figura 8 - Mapa de previsão de cobertura para o sistema TETRA em Santa Catarina



Fonte: SSP/SC (2013).

O estudo de cobertura do sistema de rádio digital do CBMSC, realizado em 2016, prevê que para atender toda a demanda da Corporação utilizando padrão DMR ou P25, contemplando tanto a área urbana quanto a rural, seria necessária a instalação de 114 repetidoras digitais VHF. Por outro lado, o estudo realizado para o sistema TETRA, realizado pela SSP/SC, em 2012, prevê a instalação de 321 repetidoras, ou seja, são 2,8 vezes a quantidade de repetidoras que seriam necessárias caso se utilize os padrões DMR ou P25.

4.3 SIGILO NAS COMUNICAÇÕES

O sigilo das comunicações nos sistemas de radiocomunicação digital é garantido, principalmente, por meio de criptografia. Segundo Ulema (2019, p. 77, tradução livre) “A transmissão criptografada dos sinais de voz e de dados é um componente essencial para a segurança de qualquer sistema de comunicação.”

Apesar de ser um recurso desejável, esse não é um fator crítico para o CBMSC na escolha de um padrão de rádio digital, visto que a natureza das ocorrências atendidas pela Corporação, em sua grande maioria, não requer tratamento sigiloso.

Entretanto, na comunicação de diversos órgãos de segurança pública, muitas vezes, o sigilo é demandado, em especial quando se trata de operações policiais, em que os meliantes não podem ter acesso às comunicações dos agentes do Estado, sob risco de fracasso da operação e, até mesmo, na perda da vida dos policiais. Essas corporações necessitam de um sistema de rádio com recursos mais robustos para garantir a confidencialidade da comunicação.

De acordo com UTC (2015, p. 21, tradução livre), “A criptografia de voz e de dados é a primeira linha de defesa, seguida de um bom método de autenticação. Neste ponto, os três sistemas, P25, TETRA e DMR, possuem formas de autenticação e de criptografia de níveis semelhantes.”

No padrão P25, a autenticação de cada rádio é gerenciada por uma ferramenta de autenticação do dispositivo. A autenticação utiliza uma chave secreta que é armazenada em um servidor do sistema de rádio e no terminal que deseja se conectar à rede. Cada terminal possui sua própria e exclusiva chave de autenticação, a qual é associada ao número ID do terminal. (UTC, 2015, tradução livre).

Os serviços de autenticação dos sistemas P25 utilizam o Advanced Encryption Standard (AES), sendo que a chave possui tamanho de 128 bits, o que proporciona um alto grau de segurança criptográfica, oferecendo muitas possibilidades de combinações para a criação de chaves. Outro benefício do P25 é a capacidade de utilizar criptografia AES de 256 bits e de compartilhamento de chaves criptográficas. As transmissões de voz também podem ser protegidas por criptografia digital. O padrão P25 especifica o uso do Data Encryption Standard (DES), que usa uma chave de 56 bits, e o algoritmos AES, com chaves de 128 e 256 bits. (UTC, 2015, tradução livre).

Conforme explica Ulema (2019) o Projeto 25 inclui uma função chamada OTAR, que permite a transferência de chaves criptográficas via rádio. Assim, as chaves podem ser gerenciadas e alteradas remotamente.

Já o padrão TETRA especifica um grande número de recursos de segurança da interface aérea. No entanto, apenas estipula que medidas de segurança devem estar implementadas, não especificando como e quando implementar esses recursos, nem como armazenar e distribuir as chaves criptográficas de maneira segura. Quando apenas um fabricante está envolvido, isso é menos problemático, porém quando vários fabricantes fornecem equipamentos para o mesmo sistema TETRA é necessário elaborar acordos para garantir a interoperabilidade dos recursos de segurança (UTC, 2015).

Quanto à autenticação, o padrão TETRA dispõe de recurso de autenticação mútua, por meio do qual o terminal e a rede de rádio precisam autenticar um ao outro. E quanto à

criptografia, o padrão pode utilizar o recurso na interface aérea entre o terminal e a rede de rádio e entre dois terminais (ULEMA, 2019).

O padrão TETRA suporta 4 algoritmos criptográficos específicos para essa tecnologia, chamados TETRA Encryption Algorithms (TEAs), são eles: TEA1, TEA2, TEA3 e TEA4, porém os mesmos não são disponibilizados para todas as regiões. Apesar de o padrão TETRA não especificar padrões Norte Americanos de criptografia, tais como DES e AES, muitos fabricantes incluem o AES em seus equipamentos (UTC, 2015; ULEMA, 2019).

Por fim, o padrão DMR provê recursos de autenticação por meio da ativação do modo de criptografia nos terminais de rádio do usuário. Conforme explica Ulema (2019) existem 3 tipos de recursos de privacidade no padrão DMR, quais sejam:

- **Privacidade Básica:** este não é um recurso de privacidade baseado em criptografia. Este recurso funciona da seguinte maneira: antes da chamada, uma chave entre 1 e 255 é escolhida para embaralhar a frequência usada entre os rádios da chamada. Naturalmente, esse número pode ser rapidamente descoberto por um agente externo apenas testando todos os 255 valores;
- **Privacidade aprimorada:** trata-se de um recurso mais seguro, baseado em uma chave criptográfica de 40 bits selecionada pelo usuário. Neste esquema a chave criptográfica personalizada deve ser inserida no dispositivo, juntamente com o nome do terminal e a atribuição do número do *slot*;
- **Criptografia de nível superior:** esse é um esquema de privacidade mais seguro, que precisa de uma licença e um *software* específico para usar o AES com chave de 128 bits e de 256 bits.

Para autenticar o terminal, o padrão DMR utiliza o conhecido sistema baseado no algoritmo Rivest Cipher 4 (RC4), com chave de autenticação de 56 bits (ULEMA, 2019).

4.4 ANÁLISE FINANCEIRA

A implantação de uma rede de rádio de segurança pública requer um investimento substancial. Sendo assim, estimativas mais precisas de custo e de formas de financiamento apropriado do projeto são extremamente importantes para se analisar a viabilidade da implantação de um sistema. Além dos custos de implantação do sistema, devem ser analisados os custos de manutenção a médio e longo prazo.

Na estimativa de custos, como explica Ulema (2019), é essencial considerar o Custo Total de Propriedade (CTP) que envolve o projeto, desenvolvimento, aquisição, instalação,

manutenção e suporte à rede de rádio por todo o seu tempo de vida útil. O cálculo do CTP deve incluir os seguintes custos:

- Custos diretos: custo inicial de projeto, construção, instalação e testes;
- Custos contínuos: Treinamentos, manutenção, melhorias;
- Custos indiretos: perda de produtividade, tempo perdido, e outros.

De acordo com UTC (2015) e Ulema (2019) alguns fatores devem ser considerados quando for realizada a estimativa de custos de um sistema de radiocomunicação, são eles:

- **Cobertura desejada:** referente aos sistemas de segurança pública, todas as áreas devem possuir cobertura, pois as emergências podem ocorrer em qualquer lugar. O número de repetidoras necessárias é altamente dependente da área total de cobertura. É preciso determinar primeiro a área atualmente existente (se houver) e, em seguida, calcular os sítios adicionais restantes para cobrir o restante das áreas (ULEMA, 2019);
- **Custos com sítios:** A quantidade de sítios está diretamente ligada à área de cobertura. De acordo com UTC (2015) o padrão TETRA requer mais sítios (2 a 4 vezes mais) para atingir a mesma cobertura dos sistemas P25 e DMR. O citado autor sugere fazer uma análise do custo de aquisição de terrenos, construção de torres, abrigos e instalação de sistema de geração de energia para cada novo sítio. Isto pode custar mais do que o próprio sistema de rádio a ser instalado no local. Além disso, uma economia significativa de recursos pode ser realizada implementando um novo sistema utilizando-se a infraestrutura de um sistema de comunicação PMR já existente;
- **Capacidade:** Os requisitos de capacidade dependem da aplicação da rede, redes com maior número de usuários precisarão de maior número de grupos de comunicação disponíveis. Além disso, como explica Ulema (2019), as redes de comunicações de segurança pública são projetadas para atender os piores casos. Dessa forma, deve-se estudar cuidadosamente o número de células necessárias para atender aos requisitos de capacidade;
- **Tempo de vida da tecnologia:** os fornecedores de PMR geralmente dão suporte aos seus sistemas por um período de 10 a 20 anos. É preciso verificar se a tecnologia não está no final do seu ciclo de vida (UTC,2015);
- **Ecossistema de fornecedores maduros:** Embora exista uma ampla gama de sistemas proprietários, o setor passou a exigir soluções baseadas em padrões. Isso permite que exista vários fabricantes vendendo componentes para o mesmo sistema. Sem o apoio da

indústria, existe o risco de a Corporação ficar sem suporte caso a empresa fornecedora venha a encerrar suas atividades (UTC, 2015).

4.4.1 Comparativo e análise do custo de implantação dos sistemas digitais

A análise de custos da implantação do sistema foi realizada com base nos menores valores encontrados em aquisições realizadas por órgãos de outros estados por meio de processo licitatório, com o objetivo de comparar os custos dos sistemas P25, TETRA e DMR. A fim de manter a neutralidade do estudo, não foram utilizados valores de pregões realizados pelos órgãos da SSP/SC, bem como, não foram utilizadas cotações de revendedoras ou fabricantes de equipamentos de radiocomunicação.

Vale ressaltar que recentemente, através do Contrato N° 180/SSP/2018 de Pregão Internacional N° 135/SSP/2017, a SSP/SC realizou a aquisição de equipamentos do padrão TETRA utilizando a modalidade pregão internacional, obtendo produtos com preços competitivos em relação aos praticados no mercado nacional, em razão de isenções fiscais atinentes a importação de equipamentos de Segurança Pública. De acordo com consulta ao Centro de Licitações e Compras (CLiC) da Diretoria de Logística e Finanças do CBMSC, a equipe desse centro entende não haverem óbices, do ponto de vista da operacionalização do processo licitatório, a uma aquisição de equipamentos de rádio de qualquer tecnologia (inclusive dos que possuem similares no mercado nacional) aberta a propostas com moeda estrangeira.

A possibilidade de licitação internacional, ou aderência a um registro de preço internacional, é crucial para a tecnologia TETRA, uma vez que os preços nacionais, encontrados durante a realização deste estudo, é mais elevado.

Entretanto, apesar de a aquisição dos equipamentos se dar por meio de Pregão Internacional, a manutenção do sistema será realizada por empresas nacionais, com os custos de manutenção devendo ser calculados considerando-se os valores de peças e equipamentos no mercado nacional.

Deve-se considerar, ainda, a forma de aquisição dos equipamentos que, normalmente, são realizados por meio dos Fundos de Reequipamento do Corpo de Bombeiros Militar (Funrebom), que são fundos municipais. Com isso, a tendência é que grande parcela das aquisições ocorra de forma descentralizada, dificultando a operacionalização de licitações internacionais em âmbito municipal. Contudo, existe a possibilidade de realização de licitações centralizadas na modalidade registro de preço, desde que haja adesão dos fundos municipais.

O ACT entre SSP/SC e PRF prevê a instalação de 321 repetidoras, das quais 82 serão instaladas e mantidas pela PRF (que arcará integralmente com a manutenção destas repetidoras), as demais repetidoras deverão ser adquiridas pela SSP/SC. Ressalta-se que essas 239 repetidoras são o número necessário para atender à área de cobertura requerida pela PMSC. Para atender os locais de interesse do CBMSC seria necessário realizar novos estudos que indicassem o número de repetidoras adicionais ao projeto, como as rodovias estaduais e áreas rurais, não previstas no projeto da SSP/SC.

Por outro lado, o estudo de cobertura realizado pelo CBMSC prevê a instalação de 114 repetidoras digitais VHF DMR (em razão das características dos sistemas, tal quantidade pode se aplicar ao P25), sendo necessários um total de 117 sítios devido aos enlaces entre as repetidoras.

4.4.2 Custo de aquisição das Estações Rádio Base

No comparativo foram analisadas aquisições recentes realizadas por meio de processo licitatório por órgãos governamentais e forças de segurança pública brasileiras. Foram comparados apenas os custos de aquisição das estações base e dos enlaces necessários. Deve-se atentar ao fato de que os preços podem variar muito de uma licitação para a outra, dependendo de uma série de fatores como o número de empresas competidoras, o câmbio da moeda estrangeira e a quantidade de equipamento a ser adquirida, de modo que o valor final do equipamento nem sempre reflete o preço de mercado.

Não foram considerados os custos de aquisição de servidores de gerenciamento, visto que não será necessária a aquisição de servidores para a rede TETRA, uma vez que esse equipamento já foi adquirido pela PRF, e o sistema DMR não exige o uso de servidores de gerenciamento para funcionar em modo Tier II. Tal equipamento só será necessário se um dia o CBMSC optar por avançar para o modo Tier III.

A Quadro 6, abaixo, mostra estimativa do custo de aquisição de estações base e enlaces para a implementação do padrão P25 em Santa Catarina.

Quadro 6 - Custo de aquisição das Estações Base do Padrão P25

Sistema de Rádio Digital Projeto 25			
	Quantidade	Valor Unitário Registrado com ICMS	Investimento Total
ERB P25 Fase 2 (4 canais de voz e 1 de dados) ¹	114	R\$ 834.931,06	R\$ 95.182.140,84
Enlace Ponto-a-ponto	117 ²	R\$ 30.000,00 ³	R\$ 3.510.000,00
TOTAL P25			R\$ 98.692.140,84
¹ Registro de Preço realizado pelo PMMG – Ata de Registro de Preços Nº 42A/2018 ² Um enlace por repetidora e, mais 3 enlances para pontos em que não há visada direta entre as torres. ³ Pregão presencial internacional Nº 001/2019, Proc. Nº 55/000.976/2018 SAD Mato Grosso do Sul.			

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Na sequência, o Quadro 7 mostra estimativa do custo de aquisição de estações base e enlances para a implementação do padrão TETRA em Santa Catarina.

Quadro 7 - Custo de aquisição das Estações Base do Padrão TETRA

Sistema de Rádio Digital TETRA			
	Quantidade	Valor Unitário Registrado com ICMS	Investimento Total
ERB TETRA 1 portadoras (4 canais) ¹	239	R\$ 240.000,00 (PMMS) ⁴	R\$ 57.360.000,00
Enlace Ponto a Ponto ²	-	-	-
TOTAL TETRA			R\$ 57.360.000
¹ Licitação realizada pela PMMS em 2019 ² O valor do enlace está incluso no preço da repetidora ³ Não é necessária a aquisição de servidores, visto que a PRF já adquiriu. ⁴ Cotação do dólar a R\$ 4,21, realizada em 28 de novembro de 2019			

Fonte: Elaborado pelo Autor.

O Quadro 8, abaixo, mostra a estimativa do custo de aquisição de estações base e enlances para a implementação do padrão DMR em Santa Catarina.

Quadro 8 - Custo de aquisição das Estações Base do Padrão DMR

Sistema de Rádio Digital DMR			
	Quantidade	Valor Unitário Registrado	Investimento Total
ERB DMR (2 canais) ²	114	R\$ 69.000,00 ¹	R\$ 7.866.000,00
Enlace Ponto a Ponto	117 ³	R\$ 30.000,00 ⁴	R\$ 3.510.000,00
TOTAL DMR			R\$ 11.376.000,00
¹ Licitação realizada pelo Tribunal de Justiça do Estado do Mato Grosso – Pregão Eletrônico N° 0076/2017; ² As ERBs adquiridas por meio do Pregão Eletrônico N° 0076/2017/TJMT já incluem um enlace ponto a ponto de, no mínimo, 15 Km e 30 Mbps de taxa de transmissão de dados. ³ Um enlace por repetidora e, mais 3 enlaces para pontos em que não há visada direta entre as torres. ⁴ Pregão presencial internacional N° 001/2019, Proc. N° 55/000.976/2018 SAD Mato Grosso do Sul.			

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Analisando-se os três quadros acima, verifica-se que a tecnologia P25 é a que apresenta o maior custo de implementação, em razão do alto custo da repetidora. Em seguida, verifica-se que o sistema TETRA apresenta custo intermediário de implantação em relação aos demais sistemas. E, por fim, tem-se a tecnologia DMR com o menor custo entre os três sistemas. Ressalta-se, porém, que o custo das ERBs DMR, em razão das especificações do pregão analisado, já inclui um enlace ponto a ponto de, pelo menos, 15 Km de extensão e taxa de transferência de, pelo menos, 30 Mbps. Entretanto, como não foi possível extrair do pregão o valor da repetidora sem o enlace, o valor do enlace foi contabilizado novamente. Portanto, pode-se considerar que o sistema DMR é ainda mais baixo do que indica o Quadro 8.

Adicionalmente, merece destaque que os preços apresentados nos equipamentos com tecnologias P25 e DMR são de pregão nacional, passíveis de serem obtidos custos inferiores se a licitação for internacional, com isenção de impostos.

Deve-se observar que o custo do sistema DMR seria para uma repetidora de 2 canais operando em Tier II, oferecendo as funcionalidades de voz, *roaming* e mensagens de texto (GPS a depender do fabricante), o que seria suficiente para atender às demandas do CBMSC e do SAMU. Para que o DMR possa atender a todos os órgãos, seria necessária a aquisição de, pelo menos, dois servidores de gerenciamento, ao custo estimado de US\$ 155.780,00 cada (estimativa orçamentária realizada pela fabricante Motorola Solutions em 18 de julho de 2019), e a instalação de uma ou mais repetidora a mais em cada sítio, de maneira que os sítios tenham, no mínimo, 4 canais à disposição (sendo um deles o canal de controle). Tal alteração demandaria um investimento significativamente superior, porém, ainda inferior a metade do necessário para a implementação da tecnologia TETRA.

4.4.2.1 Custo de aquisição dos Terminais Digitais

Abaixo, no Quadro 9, utilizou-se a quantidade de terminais estimada pela DiTI para atender à necessidade de CBMSC baseando-se na quantidade atual de terminais da Corporação. Neste comparativo foram utilizados valores de terminais, das três tecnologias, extraídos de processos licitatórios recentes de diversos órgãos públicos brasileiros.

Quadro 9 - Custo de aquisição dos terminais digitais para CBMSC por padrão de rádio digital

Terminais Padrão P25			
	Quantidade	Valor Unitário	Investimento Total
Terminal Portátil	1175	R\$ 4100,00 ¹	R\$ 4.817.500,00
Terminal Móvel/Fixo	884	R\$ 5256,00 ¹	R\$ 4.646.304,00
Total			R\$ 9.463.804,00
¹ Ata de Registro de Preços Nº 305-A/2018 - Polícia Militar de Minas Gerais.			
Terminais Padrão TETRA			
	Quantidade	Valor Unitário	Investimento Total
Terminal Portátil ¹	1175	R\$ 1.913,06	R\$ 2.247.845,50
Terminal Móvel/Fixo ¹	884	R\$ 3.088, 25	R\$ 2.730.013,00
Total			R\$ 4.977.858,50
Ata de Registro de Preços Nº 003/2019 – Pregão Presencial Internacional SRP nº 007/2018 – SSP Goiás Cotação do Euro a R\$ 4,67			
Terminais Padrão DMR			
	Quantidade	Valor Unitário	Investimento Total
Terminal Portátil	1175	R\$ 2.277,00 ¹	R\$ 2.675.475,00
Terminal Móvel/Fixo	884	R\$ 3.861,00 ¹	R\$ 3.413.124,00
Total			R\$ 6.088.599,00
¹ Ata de realização de Pregão Eletrônico Nº 00069/2017 – Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo.			

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Observa-se, no Quadro 9, que o padrão P25 foi o que apresentou maior custo para aquisição dos terminais. O padrão DMR apresentou custo intermediário e o padrão TETRA apresentou custo menor para aquisição de terminais. Contudo, é preciso ressaltar que a grande maioria das aquisições realizadas de sistemas TETRA, por órgãos de segurança pública, se deu

por meio de pregão internacional, que permite a isenção de impostos para órgãos da área de segurança pública. Já os preços apresentados nos equipamentos com tecnologias P25 e DMR são cotação nacional, passíveis de preços inferiores se a licitação for internacional.

4.4.2.2 Custo total das tecnologias para o CBMSC

Analisando-se apenas os custos globais de cada uma das tecnologias, fica evidente que, do ponto de vista financeiro, se o CBMSC for adotar um sistema de rádio digital para uso exclusivo da Corporação ou compartilhado com até mais uma instituição, a tecnologia mais indicada é a DMR, tendo em vista o elevado custo global do P25 e do TETRA. O sistema DMR, em sua versão Tier III Troncalizada, embora mais cara, ainda seria a opção mais econômica.

Entretanto, em razão do ACT firmado entre a PRF e a SSP/SC, onde o padrão TETRA já foi definida por essas instituições, sendo que a PRF já emitiu ordem de fornecimento para a implantação das 82 ERBs que lhe compete e a SSP/SC já iniciou a migração, porém restrita a grande Florianópolis e ao litoral catarinense, a possibilidade de compartilhamento da infraestrutura e de seus custos deve ser levado em consideração.

Sendo assim, resta ao CBMSC e outros órgãos, como SAMU e Defesa Civil, que ainda utilizam o sistema analógico analisar a viabilidade de utilizar o padrão TETRA de forma compartilhada com os demais órgãos ou adotar um sistema próprio a ser usado por essas instituições.

No presente estudo, por uma questão de viabilidade, considerou-se apenas os custos com repetidoras e enlaces, não levando-se em consideração os custos de construção de torres e aquisição de terrenos. Porém, não se deve esquecer que no caso de adoção do sistema DMR serão necessários um adicional de 39 sites em relação ao sistema analógico, sendo que no caso do sistema TETRA serão necessários um quantitativo muito superior, mesmo considerando a complementariedade dos sites da rede SSP/SC com a do BMSC e restringindo essa análise ao interior do estado.

De fato, é preciso salientar que não foi definida uma metodologia para a divisão dos custos entre os órgãos usuários do sistema de radiocomunicação digital em Santa Catarina. Um dos métodos cogitados para isto seria a divisão dos custos proporcionalmente à quantidade de terminais de cada órgão. A SSP/SC estima, conforme o projeto de radiocomunicação digital, que seriam necessários 9500 terminais para atender a todos os órgãos do Estado, sendo que, destes, 2330 terminais estariam destinados ao CBMSC. Sob esta metodologia, caberia ao CBMSC uma parcela de 24,52% dos custos de aquisição e manutenção do sistema. O Quadro

10, a seguir, mostra o investimento total a ser realizado pelo CBMSC nas hipóteses de utilizar um sistema compartilhado P25 ou TETRA, ou, ainda, um sistema próprio DMR.

Quadro 10 - Estimativa de custo total do sistema de rádio digital para o CBMSC

P25 (Sistema compartilhado com a SSP) [licitação internacional]	
Custo do Sistema (Repetidoras e Enlaces)	R\$ 98.692.140,84
Custo estimado do Sistema para o CBMSC	R\$ 24.199.312,93
Custo dos Terminais para o CBMSC (nacional)	R\$ 9.463.804,00
Custo Total do P25 para o CBMSC	R\$ 33.663.116,93
TETRA (Sistema compartilhado com a SSP) [licitação internacional]	
Custo do Sistema (Repetidoras e Enlaces)	R\$ 57.360.000,00
Custo estimado do Sistema para o CBMSC	R\$ 14.064.672,00
Custo dos Terminais para o CBMSC	R\$ 4.977.858,50
Custo Total do TETRA para o CBMSC	R\$ 19.042.530,50
DMR (sistema próprio) [licitação nacional]	
Custo do Sistema (Repetidoras e Enlaces)	R\$ 11.376.000,00
Custo dos Terminais para o CBMSC	R\$ 6.088.599,00
Custo Total DMR para o CBMSC	R\$ 17.464.599,00

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Utilizando-se a metodologia da divisão de custos proporcional ao número de terminais, percebe-se que o padrão P25 seria o mais oneroso. Em relação aos padrões TETRA e DMR, há uma pequena vantagem do DMR. Ressalta-se que o DMR, por ser uma tecnologia menos complexa e voltada a substituição dos sistemas analógicos, permite aproveitar componentes e acessórios destes últimos, tais como duplexadores, filtros, *rack*, cabos e antenas, e esta vantagem financeira não foi contabilizada, bem como fazer uma transição gradual, pois o sistema é compatível com a tecnologia legada. Adicionalmente, deve-se atentar que uma licitação internacional tenderia a diminuir ainda mais o valor da solução com a tecnologia DMR, aumentando ainda mais seu atrativo de menor custo.

4.4.2.3 Custo de manutenção

Para a estimativa do custo de manutenção anual, utilizou-se como parâmetro o valor de 10% do custo total de aquisição de cada tecnologia, tal parâmetro também foi utilizando no

projeto de radiocomunicação digital da SSP/SC. A Tabela 6, abaixo, apresenta a estimativa de custo anual de manutenção do sistema de cada tecnologia para o CBMSC.

Quadro 11 - Estimativa de Custo Anual de Manutenção de Sistema de Radiocomunicação Digital

Padrão P25 (Sistema Compartilhado com a SSP)	
Custo Total do P25 para o CBMSC	R\$ 33.663.116,93
Estimativa do Custo Anual de Manutenção (10% a.a.) - P25, para o CBMSC	R\$ 3.366.311,69
Padrão TETRA (Sistema Compartilhado com a SSP)	
Custo Total do TETRA para o CBMSC	R\$ 19.042.530,50
Estimativa do Custo Anual de Manutenção (10% a.a.) – TETRA, para o CBMSC	R\$ 1.904.253,05
Padrão DMR (Sistema próprio)	
Custo Total DMR para o CBMSC	R\$ 17.464.599,00
Estimativa do Custo Anual de Manutenção (10% a.a.) – DMR, para o CBMSC	R\$ 1.746.459,90

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Analisando-se o Quadro 11, verifica-se que o padrão P25 seria o mais oneroso em termo de manutenção. Em relação aos padrões TETRA e DMR. O DMR apresenta-se mais vantajoso em relação ao TETRA. Essa vantagem tende a aumentar quando levado em consideração os 239 sites necessários ao sistema TETRA, considerando a PRF assuma integralmente a implementação e custeio dos seus 82 sites e os compartilhe sem custos, contra 117 sítios DMR. Todos esses sítios demandarão investimentos em aluguel e/ou aquisição de terrenos, construções de abrigos e torres, manutenção corretiva e preventiva, gastos com energia elétrica, aquisição e manutenção de geradores, sistemas condicionadores de ar e sistemas de monitoramento para a segurança física do local, entre outros.

Deve-se considerar, também, que os valores utilizados para o sistema TETRA são provenientes de pregão internacional, e que os custos com manutenção devem ser calculados tendo como referência os preços no mercado nacional, tendo em vista que o serviço de manutenção será realizado por empresa nacional e utilizando peça e equipamentos produzidos no mercado nacional ou importados sem a isenção fiscal da qual os órgãos de segurança pública se beneficiam.

4.5 COMPARAÇÃO ENTRE OS PADRÕES DIGITAIS EM RELAÇÃO AOS REQUISITOS DEFINIDOS

O quadro abaixo foi elaborado com base nas características técnicas intrínsecas a cada tecnologia e apresenta a adequabilidade dos padrões digitais em relação aos requisitos definidos pelo CBMSC para o Sistema de Radiocomunicação Digital.

Quadro 12 - Comparação entre os Padrões Digitais em relação aos requisitos definidos

Requisitos	Padrões		
	APCO P25	TETRA	DMR
Cobertura do sinal radioelétrico em todo o território atendido pelo CBMSC	ATENDE	PARCIAL	ATENDE
Enlaces IP com rede privada operando em 4,9 GHz	ATENDE	ATENDE	ATENDE
Transmissão de sinais digitalizados	ATENDE	ATENDE	ATENDE
Serviços de voz	ATENDE	ATENDE	ATENDE
Interoperabilidade entre terminais de diversos fabricantes	ATENDE	ATENDE	PARCIAL
Compatibilidade com o sistema analógico atual que opera na faixa de VHF	ATENDE	NÃO ATENDE	ATENDE
Operação na faixa de frequência VHF compreendida entre 149 e 174 MHz	ATENDE	NÃO ATENDE	ATENDE
Interoperabilidade entre os rádios digitais e os atuais rádios analógicos	ATENDE	NÃO ATENDE	ATENDE
Sigilo básico nas comunicações	ATENDE	ATENDE	ATENDE
Homologado e/ou certificado pela Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL)	ATENDE	ATENDE	ATENDE
Custo de Implantação e manutenção	ALTO	MÉDIO	BAIXO

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Com base no Quadro 12 verifica-se que alguns requisitos não são atendidos ou são atendidos parcialmente por alguns padrões, sendo que tais requisitos são detalhados a seguir:

- O projeto de radiocomunicação digital TETRA foi elaborado pela SSP/SC para atender a uma área de cobertura predominantemente urbana, conforme necessidade da PMSC. Para que o projeto seja aplicável ao CBMSC seria necessário confeccionar um novo projeto contemplando as necessidades operacionais do CBMSC e acrescentando as

repetidoras necessárias para cobrir as áreas de interesse da Corporação, especialmente na região rural e rodovias estaduais, onde não haverá cobertura da rede TETRA da PRF;

- TETRA e P25 são padrões mais antigos, com protocolos e processos de teste de interoperabilidade muito bem definidos, permitindo a interoperabilidade entre terminais para serviços de voz e de dados. O padrão DMR, é um padrão mais recente, alguns critérios de interoperabilidade ainda não foram definidos. Contudo, as funcionalidades necessárias para a realização de chamadas de voz já estão definidas no protocolo, e muitos fabricantes incluem as funcionalidades de dados em seus rádios;
- Apenas os sistemas P25 e DMR são capazes de oferecer compatibilidade de interface aérea com o sistema analógico atual do CBMSC, o que permite uma migração gradual para a tecnologia digital e propicia interoperabilidade entre as redes analógicas e digitais utilizando-se um mesmo terminal, com controle do usuário;
- Os padrões P25 e DMR são capazes de operar na faixa VHF entre 146 e 174 Mhz, oferecendo a possibilidade de migração gradual preservando os investimentos realizados até o momento, pois permite a operação de todos os terminais VHF/FM analógicos em uso atualmente, que é uma faixa de frequência mais compatível com a topologia de Santa Catarina;
- Os sistemas baseados em P25 e DMR permitem que os rádios digitais possam ser utilizados em modo analógico e, da mesma maneira, as repetidoras também oferecem essa possibilidade;
- Os sistemas baseados em TETRA não permitem a operação dos rádios analógicos e, dessa maneira, precisam ser implantados de forma completa nas regiões a que se destinam, visto que os terminais do sistema TETRA funcionarão apenas na infraestrutura do mesmo sistema;
- Quanto aos custos de implantação e manutenção, observou-se que o P25 apresenta um custo de implantação mais alto em razão dos preços das repetidoras e dos terminais. O TETRA apresenta custo intermediário, porém o valor de manutenção pode ser mais elevado em razão da maior quantidade de sítios necessários. E o padrão DMR foi o que apresentou o custo de implantação e manutenção mais baixo em relação às repetidoras e com terminais com valores muito próximos aos do padrão TETRA, mesmo com a sua aquisição sendo realizada por meio de pregão nacional.

5 CONCLUSÃO

No presente trabalho, procurou-se inicialmente apresentar a radiocomunicação no âmbito das forças de segurança pública e destacar a sua importância para o bom desempenho no serviço dos agentes do Estado, provendo um meio de comunicação ágil e simples para ser usado durante as ocorrências e operações. Procurou-se traçar um panorama da situação atual dos sistemas de radiocomunicação em Santa Catarina, bem como a situação específica do CBMSC, apresentando-se os fatores que tornam necessária a migração do sistema analógico para um sistema digital.

Na sequência, foi apresentado o conceito de Rádio Móvel Profissional (PMR), descrevendo-se o sistema analógico, atualmente em uso no CBMSC e na PMSC e em corporações de diversos estados, bem como as principais tecnologias digitais de radiocomunicação disponíveis atualmente no mercado, o padrão P25, TETRA e DMR. Tais tecnologias são as mais amplamente utilizadas pelas forças de segurança pública no mundo.

Em seguida, foram levantados junto à Divisão de Tecnologia da Informação (DiTI) do CBMSC os requisitos técnicos necessários a um sistema de radiocomunicação digital para que atendesse às necessidades operacionais da Corporação. O atendimento dos requisitos, por cada uma das três tecnologias, foi verificado utilizando-se como base o Projeto de Radiocomunicação Digital VHF do CBMSC (2016) e o Projeto TETRA de Radiocomunicação Digital da SSP/SC (2012), o qual está sendo implementado pela PMSC, bem como, os aspectos técnicos, operacionais e financeiros de cada tecnologia.

A seguir, são apresentadas as conclusões e considerações atinentes às tecnologias analisadas.

O padrão P25 é um padrão maduro, com mais tempo de mercado, com normas e conceitos bem definidos, e é amplamente adotado em agências de segurança pública, possuindo boa interoperabilidade entre os terminais de diversas marcas. Esse padrão possui capacidade de operar em modo analógico e na faixa de frequência VHF, sendo, desta forma, compatível com o atual sistema de radiocomunicação do CBMSC, o que possibilita a realização de uma migração gradual, conforme as possibilidades financeiras da Corporação, preservando o investimento realizado, até então, na rede de comunicação. Ele possui maior área de cobertura em relação ao sistema TETRA, pois se vale da alta potência das repetidoras e da banda VHF que possui maior alcance que a UHF, sobretudo na topografia do estado de Santa Catarina, em razão das propriedades físicas da onda eletromagnética. Entretanto, em relação ao aspecto

financeiro, verifica-se que o sistema P25 é o que apresenta um custo inicial superior às demais tecnologias estudadas, tanto em termos de repetidoras quanto de terminais.

O padrão TETRA, tal qual o P25, também é um padrão maduro, com bastante tempo de mercado, com normas e conceitos bem definidos, e é amplamente adotado em agências de segurança pública, possuindo boa interoperabilidade entre equipamentos de diversas fabricantes. Esse padrão não possui capacidade de operar em modo analógico, nem tampouco utiliza a faixa de frequência VHF, sendo incompatível e não permitindo o aproveitamento da base instalada. Assim, o sistema TETRA exige que a migração seja realizada de maneira completa para funcionar, sendo necessária a aquisição, de uma só vez, de terminais, repetidoras, antenas e demais equipamentos. Em relação a capacidade de transmissão de dados, o sistema TETRA é o que apresenta a melhor performance, porém, na prática, todos esses sistemas são muito restritos em termos de transmissão de dados, limitando sua aplicação a troca de mensagens ou pequenos blocos de dados. O sistema TETRA possui, ainda, alguns benefícios operacionais que podem ser úteis aos militares na cena da ocorrência ou do sinistro, como a função DMO Repetidora, que permite que uma viatura atue como uma repetidora local ampliando o alcance dos rádios móveis e portáteis, tal funcionalidade permite, por exemplo, que um bombeiro que estiver atendendo uma vítima em uma gruta ou no fundo de um desfiladeiro possa se comunicar com a Central de Operações, porém a função não é um requisito básico e não acrescenta ganho significativo na área de cobertura. Justamente a área de cobertura é o ponto mais negativo da tecnologia TETRA, uma vez que demanda de 2 a 4 vezes mais repetidoras para cobrir a mesma área atendida pelas outras tecnologias analisadas, sendo indicada para áreas de maior concentração populacional. Embora essa tecnologia possua repetidoras com custo intermediário e terminais mais baratos, em razão da forma de aquisição por licitação internacional analisada, ela exige um número muito maior de estações base instaladas, o que aumenta o seu custo de instalação e, a longo prazo, possivelmente apresentará um custo de manutenção maior, não sendo a solução mais econômica para atender as necessidades do CBMSC no estado.

O padrão DMR, é um padrão mais recente e foi projetado inicialmente para atender a um mercado comercial ou industrial proporcionando uma ótima relação custo benefício. Entretanto, o padrão evoluiu e, com o desenvolvimento do DMR Tier III, incorporou funcionalidades que o deixaram mais próximo dos padrões P25 e TETRA, sendo que esta última versão do DMR já é classificada pelos fabricantes como um sistema de comunicação crítica. Porém, o padrão DMR Tier II já atende plenamente os requisitos técnicos do CBMSC. Tal qual o padrão P25, o DMR possui a capacidade de operar em modo analógico e na faixa de

frequência VHF, possibilitando uma migração gradual e de acordo com as possibilidades financeiras da Corporação. Embora os equipamentos DMR não possuam o mesmo nível de interoperabilidade entre diferentes fabricantes, as funcionalidades principais são padronizadas. Em relação ao aspecto financeiro, o sistema DMR é um sistema projetado para entregar radiocomunicação digital a baixo custo e com baixa complexidade, logo, entre os três sistemas analisados, é o que apresenta menor custo de aquisição e de manutenção. Sendo assim, considerando-se apenas os requisitos necessários de um sistema de radiocomunicação digital para o CBMSC, que pode ser inclusive compartilhando com SAMU e Secretaria de Defesa Civil, pois possuem as mesmas necessidades em área de cobertura e funcionalidades demandadas, a escolha do padrão DMR é inequívoca do ponto de vista técnico e financeiro.

Entretanto, a tecnologia TETRA não pode ser descartada da análise, em razão da possibilidade de seu uso compartilhado com todos os órgãos de segurança pública. A PRF adotou esse sistema e, em SC, está instalando 82 estações base TETRA, as quais está disponibilizando para uso sem ônus ao estado (SSP/SC), por meio do ACT Nr 01/SSP-SC/2017. Todavia, deve-se levar em consideração que para atender as demandas apenas da PMSC, as quais são diferentes do CBMSC, será necessário a aquisição, instalação e manutenção de 239 bases adicionais. Assim, mesmo com os custos compartilhados esta solução ainda é mais cara ao CBMSC do que a montagem de uma rede exclusiva DMR. Adicionalmente, as ERBs adicionais a serem implementadas não serão suficientes para atender as demandas de comunicação do CBMSC, como rodovias e áreas rurais, demandando investimentos adicionais. Há de se considerar que a adoção da tecnologia TETRA implicará em mais torres a serem implantadas (maior dificuldade na obtenção de locais para a implantação e obtenção das licenças ambientais), maior quantidade de infraestrutura (estações rádio bases, contêineres/abrigos, ar condicionados, antenas e outros acessórios), maiores gastos com energia elétrica, com manutenções periódicas e corretivas, mais mão de obra especializada e disponível, e mais locais para gerenciar e prover segurança.

Por outro lado, a implementação da rede DMR pelo CBMSC, além de ser mais econômica, de implantação gradual e manter em operação os sistemas legados, poderá criar um sistema redundante de comunicação no Estado. Isso é possível pela interligação de *gateways* a outras redes, caso outros órgãos optem por outra solução, mantendo o CBMSC autônomo e ágil para continuar realizando os serviços que tem prestado a sociedade catarinense.

Por fim, a título de trabalhos futuros, sugere-se o estudo da tecnologia LTE, que está despontando como uma opção promissora para sistemas de comunicação crítica de alta capacidade, e da complementariedade desse com sistemas PMRs de diferentes tecnologias.

Outra abordagem necessária, é estudar a utilização de terminais de radiocomunicação via satélite conectados à rede do CBMSC para utilização de equipes da Força Tarefa.

REFERÊNCIAS

ABREU, Cláudio da Silva. **Estudo da migração do sistema de radiocomunicação analógico para digital e sua implementação em uma permissionária de energia**. 2017. 91 f. Monografia. (Graduação). Curso de Engenharia Elétrica. Departamento de Ciências Exatas e Engenharias. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Ijuí, 2017.

ANATEL - AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES. Resolução nº 558, de 20 de dezembro de 2010. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 24 de dezembro de 2010. Seção 1, p. 151-156.

_____. Resolução nº 568, de 15 de junho de 2011. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 28 de julho de 2011. Seção 1, p. 38 - 43.

_____. Resolução nº 674, de 13 fevereiro de 2017. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 15 de fevereiro de 2017. Seção 1, p. 7 - 11.

CBMSC - CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE SANTA CATARINA. **Sistema de radiocomunicação**: descrição técnica da rede de comunicação. Florianópolis, 2019.

_____. **Mapa da previsão de cobertura de radiocomunicação**. Florianópolis, 2019.

_____. **Palestra técnica sobre o projeto de radiocomunicação do CBMSC**. Florianópolis: CBMSC, 2019.

_____. **Palestra técnica sobre o sistema de rádio digital do CBMSC**. Florianópolis: CBMSC, 2019.

COUTINHO, Tiago Cavalcante. **Importância da radiocomunicação nas ocorrências de combate a incêndio urbano em edificações**: proposta de equipamentos e acessórios para uma radiocomunicação mais eficiente. Artigo. 24 f. Curso de Formação de Oficiais do Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Goiás. Comando da Academia e Ensino Bombeiro Militar. Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Goiás. Goiânia, 2017.

EXÉRCITO BRASILEIRO. **Manual de campanha C 24-18**: manual de rádio em campanha. 4. ed. 1997.

FERNANDES, Cirineu Carvalho. Implantação e regulamentação do sistema de radiocomunicação digital Tetra na SSPAP-GO. 2017. 21 f. Artigo. Curso de Especialização em Gestão Estratégica de Segurança Pública na Polícia Militar. Polícia Militar de Minas Gerais. Universidade Estadual de Goiás. Goiânia. 2017.

GIUSTI, Marcelo. **Radiocomunicação digital em segurança pública**: a adoção do protocolo APCO 25 em VHF convencional como padrão institucional na Brigada Militar. Artigo. 20 f. (Especialização). Academia de Polícia Militar. Porto Alegre, 2016.

GONSALVES, Elisa Pereira. **Conversas sobre iniciação a pesquisa científica**. Campinas: Alínea, 2003.

LUDOLF, Eduardo Martinelli. **Radiocomunicação digital na segurança pública**. 2011. 48 f. Monografia. (Graduação em Engenharia Elétrica). Universidade São Francisco. Campinas, 2011.

MORRIS, Edwin et al. System of Systems Interoperability (SOSI): final report. **Instituto de Engenharia de Software Carnegie Mellon**. Pittsburgh, 2004. Disponível em: https://resources.sei.cmu.edu/asset_files/TechnicalReport/2004_005_001_14375.pdf. Acesso em: 20 out. 2019.

MOTOROLA. Curso PCT1009. **DMR III Explained**. 2014. Disponível em: <https://learning.motorolasolutions.com>. Acesso em: 21 nov. 2019.

ONALI, T.; SOLE, M.; GIUSTO, D. D. DMR Networks for health emergency management: a case study. **7th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference**. Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE). Istanbul, p. 2151-2156, 4 - 8 jul. 2011.

POLÍCIA MILITAR DE MINAS GERAIS. **Justificativa para a implantação de sistema de radiocomunicação digital para a PMMG**. Diretoria de Tecnologia e Sistemas. Belo Horizonte, 2013.

POLÍCIA MILITAR DE SANTA CATARINA. **Resumo do projeto de radiocomunicação digital da Segurança Pública de Santa Catarina**. Florianópolis, 2018.

QADDUS, Ahmed. Real time performance analysis of Digital Mobile Radio (DMR) and APCO Project 25 (P-25) Radio Systems in Land Mobile Radio (LMR) Systems. **International Journal of Computing Engineering and Information Technology**, Paquistão, v. 8, n. 3, p. 49-55, 2016.

RIBEIRO, Altair Fábio Silvério. Implantação de projeto de radiocomunicação TETRA na faixa de frequência UHF em aeroportos. **Inova Ciência e Tecnologia**, Uberaba, ano 2, n. 3, p. 22 - 32, set./dez. 2016.

SANTOS, Karlo Homero Ferreira. **Análise de desempenho do enlace direto de sistemas de comunicações utilizando diversidade espacial e temporal**. 2005. 130 f. Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. Outubro de 2005.

SECRETARIA DE ESTADO DA SEGURANÇA PÚBLICA. **Mapa de previsão de cobertura de radiocomunicação**. Florianópolis, 2013.

_____. **Relatórios técnicos do projeto de radiocomunicação**. Florianópolis, 2013.

ULEMA, Mehmet. **Fundamentals of public safety networks and critical communications systems: technologies, deployment and management**. New Jersey: IEEE Press, 2019.

UTC. White paper: making the right choice: selecting a private mobile radio technology to solve critical machine to machine communications needs. **Utilities Telecom Council**. 2015. Disponível em: <https://utc.org/wp-content/uploads/2018/02/2015UTCLMRM2M-1.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2019.

WELLISCH, Wilson Diniz. **Sensoriamento do espectro em sistema TETRA por meio de análise tempo-frequência**. 2012. 81 f. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Elétrica). Departamento de Engenharia Elétrica. Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília. 2012.