



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS DA EDUCAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA INFORMAÇÃO

Débora Vanessa Campos Freire

Proposta de Metodologia de Avaliação Tecnológica para Comunicações Críticas:
aplicação prática como subsídio para a tomada de decisão

Florianópolis
2019

Débora Vanessa Campos Freire

Proposta de Metodologia de Avaliação Tecnológica para Comunicações Críticas:
aplicação prática como subsídio para a tomada de decisão

Dissertação de mestrado submetido ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Informação da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de Mestre em Ciência da Informação.
Orientadora: Prof.^a. Dra. Ana Clara Cândido

Florianópolis
2019

Ficha de identificação da obra

Freire, Débora Vanessa Campos

Proposta de Metodologia de Avaliação Tecnológica para Comunicações Críticas: aplicação prática como subsídio para a tomada de decisão / Débora Vanessa Campos Freire; orientador, Ana Clara Cândido, 2019.

226 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências da Educação, Programa de Pós-Graduação em Ciência da Informação, Florianópolis, 2019.

Inclui referências.

1. Ciência da Informação. 2. Avaliação de Tecnologia. 3. Ciência da Informação. 4. Comunicações Críticas. 5. Segurança Pública. I. Cândido, Ana Clara. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciência da Informação. III. Título.

Débora Vanessa Campos Freire

Proposta de Metodologia de Avaliação Tecnológica para Comunicações Críticas:
aplicação prática como subsídio para a tomada de decisão

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof.^a Ana Clara Cândido, Dr.(a).
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Vinícius Kern, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. António Moniz, Dr.
Universidade de Nova Lisboa

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de mestre em Ciência da Informação.

Prof. Dr. Adilson Luiz Pinto
Coordenador do Programa

Prof.^a Dr.(a) Ana Clara Cândido
Orientadora

Florianópolis, 15 de agosto de 2019.

Este trabalho é dedicado ao ideal de uma sociedade mais igualitária e colaborativa. Que o desenvolvimento tecnológico possa nos ajudar a tornar esse ideal algo real.

Dedico também este trabalho ao povo do Nordeste brasileiro, que apesar de tantas dificuldades, sabe como ninguém colher bons frutos em terra árida.

AGRADECIMENTOS

Os primeiros a acreditarem neste trabalho foram o Perito Criminal Federal (PCF) Marcelo de Azambuja Fortes e o PCF Fernando Antônio Maciel Ramos, sem os quais eu não teria sequer começado esta pesquisa. O delegado de Polícia Federal (DPF) William Marcel Murad, que também acreditou neste trabalho e deu todo o respaldo, suporte técnico e apoio.

Agradeço aos colegas de trabalho e amigos, Agentes de Telecomunicações e Eletricidade Alilton Moreira, Alúcio Sardinha, Francisco Coelho, Giordano de Oliveira, Joelson Murilo da Silva, Luciano Castilho. A Agente de Polícia Federal (APF) Juliana Lima, o APF Nilson Cavallim, a PCF Rejane Haltenburg e o Escrivão de Polícia Federal (EPF) Robson Negrão, que preside o grupo de trabalho para Comunicações Críticas e executou comigo os testes de usabilidade, além de auxiliar no desenvolvimento dos algoritmos.

Agradeço aos colegas de outros órgãos públicos, como os ligados ao Ministério de Ciência Tecnologia e Inovação, Arthur Coimbra de Oliveira e Juliana Müller Jorge Reis; da Polícia Rodoviária Federal, Márcio Antunes; do Exército, André Rego Barros; da Polícia Militar de Minas Gerais, Daniel Cardoso Ladeira; o então secretário de segurança de Querétaro, Juan Martin Granados Torres; o na época, coordenador geral de tecnologias em Querétaro, Pedro Toscueto González; o coordenador de desenvolvimento e articulação interinstitucional em segurança pública de Morelos, Juan Carlos Peniche Payén; e o então diretor de tecnologia do C5 de Morelos, Manuel Nicolás Mabroidis Ramos

Agradeço aos colegas de empresas fornecedoras de equipamentos e serviços que foram fundamentais para esta pesquisa, em especial, Felipe Maciel Miranda, Fred Gallart e Sérgio Coutinho, da Airbus; Juelinton Silveira e Ricardo Bovo, da Huawei; Edson Ambrósio, da Motorola. Além de Luiz Guimarães Silva da WIN.

Agradeço aos professores, Dr. Antônio Moniz, Dr. Luciano Leonel Mendes e Dr. Vinicius Kern. Aos familiares e amigos, em especial, Alessandra Callado Bezerra de Mello, Fernanda Rabelo Leite Fontenelle, Isabella Campos Miranda de Almeida, Jorge Rossiter, Nadja Verônica Campos Freire; e aos 23 colegas mestrandos da Polícia Federal.

Agradeço à Polícia Federal, pela oportunidade e ao departamento de Pós-Graduação em Ciência da Informação da UFSC pela confiança. Por último, gostaria de agradecer imensamente a minha orientadora, Dr.^a Ana Clara Cândido, não apenas pela sua generosidade de compartilhar seus conhecimentos de forma tão simples e clara, mas, sobretudo, pela sua amizade, confiança e dedicação.

RESUMO

As redes de radiocomunicação são uma das principais ferramentas de apoio às entidades que desenvolvem ações em Segurança Pública e Defesa. São, por isso, denominadas comunicações críticas, com protocolos internacionais específicos para essas tecnologias. Apesar de todo o esforço para a implantação desses sistemas, pouco se tem realizado no Brasil em termos de avaliações tecnológicas. Trata-se de uma lacuna para a Tomada de Decisão, por parte dos gestores, quanto ao futuro dessas redes. Entende-se que este problema engloba, além de aspectos técnicos, aspectos relacionados ao contexto social no qual esses sistemas estão inseridos. O objetivo deste estudo é propor uma metodologia de Avaliação Tecnológica em comunicações críticas, através de uma análise ampla, envolvendo usuários e especialistas desses sistemas, bem como, os atores da Tríplice Hélice da Inovação (governo, empresas e universidades). Além disso, são consideradas as características de tecnologias já utilizadas e de possível uso, e a análise dos custos de aquisição/adoção de determinada tecnologia ou processo. Por fim, este modelo ajuda a calcular quanto o investimento representa em termos de retorno para a sociedade por meio da redução dos custos do crime, com impacto direto sobre redução da criminalidade e melhoria do bem-estar social da comunidade. Este trabalho também realiza um exercício de Avaliação Tecnológica dos sistemas de radiocomunicação digital empregados no Brasil, como forma de validação da metodologia proposta. Trata-se de uma pesquisa exploratória e descritiva de natureza aplicada, com abordagem quali-quantitativa, sob a forma de estudo de caso e aplicada através do uso de dados primários e secundários. As principais contribuições deste estudo são o suporte aos gestores das agências de Segurança Pública e Defesa no processo de Tomada de Decisão, e a previsibilidade dos impactos gerados nos órgãos e na sociedade antes do investimento ser realizado.

Palavras-chave: Avaliação de Tecnologia. Ciência da Informação. Comunicações Críticas. Segurança Pública.

ABSTRACT

Radiocommunication networks are one of the main support tools for Public Safety and Defense entities. Therefore, they are called critical communications, and there are specific international protocols for these technologies. Despite all the efforts to implement these systems, little has been done in Brazil when it comes to technology assessment. This is a gap in management's decision-making process regarding the future of these networks. It is understood that this problem encompasses, besides technical features, aspects related to the social context in which these systems are inserted. This study aims to propose a methodology for Technological Assessment in critical communications, with a broad analysis involving users and experts in these systems, as well as actors from the Triple Helix of Innovation (government, companies and universities). The characteristics of technologies previously used or of possible use are considered, as well as the costs of acquisition or adoption of a particular technology or process. Finally, the model estimates how much the investment means in terms of return to the society through the reduction of crime costs, with a direct impact on crime reduction and improvement of the community's social welfare. This work also conducts a Technological Assessment exercise with the digital radio communication systems used in Brazil, in order to validate the proposed methodology. This is an exploratory and descriptive applied research, in the form of a case study, with qualitative and quantitative approaches, and based on the use of primary and secondary data. This study's main contributions are assisting the managers of Public Safety and Defense agencies in the decision-making process and allowing them to predict the impacts over organizations and society before the investment is made.

Keywords: Technology Assessment. Information Science. Critical Communications. Public Safety.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Avaliação de Tecnologia, contexto existente e situação desejada.	23
Figura 2 – Inovação como um processo sequencial.	24
Figura 3 – Modos de operação de uma rede LMR.	34
Figura 4 – Análise de <i>drive test</i> em comparação com a predição.	39
Figura 5 – Arquitetura básica de uma rede LTE.	49
Figura 6 – Sistema com reuso de frequência =7 versus LTE com reuso =1.	51
Figura 7 – Distribuição de quadros, sub-quadros e blocos de recurso no <i>downlink</i> .	53
Figura 8 – Representação do efeito multipercurso e interferência intercelular.	56
Figura 9 – LTE e serviços de interoperabilidade entre PSNs e PMNs.	61
Figura 10 – Desenho da rede híbrida no México.	68
Figura 11 – Exemplos de telas do aplicativo Agnet.	70
Figura 12 – Exemplos de telas do aplicativo Wave 7000.	71
Figura 13 – Telas eComm.	72
Figura 14 – Modelo de 6 passos para AT.	81
Figura 15 – Canvas do Sistema de Atividades, forma conceitual.	84
Figura 16 – Representação do sistema através do CESM, forma conceitual.	86
Figura 17 – Representação do modelo de Avaliação Tecnológica, forma conceitual.	87
Figura 18 – Dimensão tecnologia, dentro do modelo de AT.	88
Figura 19 – Algoritmo para análise da dimensão governo.	99
Figura 20 – Configuração do sistema irradiante, estação PE01.	110
Figura 21 – Resumo da aplicação do modelo de seis passos.	120
Figura 22 – Passo 2: Canvas Sistema de Atividade Comunicação Crítica.	123
Figura 23 – Passo 3: Sistema proposto para Comunicação Crítica.	127
Figura 24 – Passo 3: Modelo para Avaliação Tecnológica em Comunicação Crítica.	128
Figura 25 – Dimensão tecnologia, dentro do modelo de AT.	129
Figura 26 – Passo 6: desenho conceitual do modelo de AT.	159
Figura 27 – Passo 6: pontuações para o estudo de caso.	160
Figura 28 – Diagrama de blocos de um sistema de controle industrial.	174
Figura 29 – Topologia de rede para simulação de testes do LENA LTE.	208
Figura 30 – Taxa de transferência em Mbits/se para <i>uplink</i> e <i>downlink</i> , com 25 e 50 UEs.	208
Figura 31 – Exemplos de telas do aplicativo G-net Track Pro.	219
Figura 32 – Exemplos de telas do aplicativo Fireprobe.	220

Figura 33 – Exemplos de telas do aplicativo IP Tools.	221
Figura 34 – Telas TPH 700.	222
Figura 35 – Tela do REMS.	222
Figura 36 – Fontes de sincronização distintas para diferentes cenários.	224
Figura 37 – Tela do CMW500 <i>Wideband Radio Communication</i> .	224

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Alocação de espectro em 700MHz, classes 12, 13, 14 e 17 (3GPP).	48
Quadro 2 – Comparações entre sistemas LTE e LMR.	59
Quadro 3 – Parâmetros da classe de banda 14.	65
Quadro 4 – RSL - Termos que deverão ser utilizados no estudo e critérios de inclusão.	76
Quadro 5 – Estrutura para elaboração das questões.	89
Quadro 6 – Sentenças questionário SUS.	93
Quadro 7 – Serviços necessários na contratação de manutenção da atual rede.	106
Quadro 8 – Componentes do sistema irradiante e limite de manutenção.	109
Quadro 9 – Dados das torres.	113
Quadro 10 – Questões de pesquisa para levantamento do Sistema de Atividades.	122
Quadro 11 - Ambiente do modelo CESM.	124
Quadro 12 - Mecanismos do modelo CESM.	124
Quadro 13 – Grupamento regras e regulações.	130
Quadro 14 – Grupamento divisão de trabalho.	131
Quadro 15 – Grupamento ferramentas.	131
Quadro 16 – Estrutura para elaboração das questões para o sistema em estudo.	131
Quadro 17 – Utilização de sistemas de rádio por algumas SDSs no Brasil.	137
Quadro 18 – Cenários capazes de atender a ação desejada (rede ideal).	141
Quadro 19 – Avaliação através dos conceitos de Jordan.	144
Quadro 20 – Objeto da atividade.	185
Quadro 21 – Aspirações e desejos para uma rede de comunicação crítica.	185
Quadro 22 – Ferramentas	186
Quadro 23 – Sujeito	187
Quadro 24 – Governo	187
Quadro 25 – Regras	187
Quadro 26 – Comunidade	188
Quadro 27 – Divisão de trabalho	188
Quadro 28 – Dificuldades	190
Quadro 29 – Sociedade	190
Quadro 30 – Especialistas	191
Quadro 31 – Usuários	191
Quadro 32 – Tecnologia	191

Quadro 33 – Interoperabilidade e integração de redes.	192
Quadro 34 – Premissas para LTE em 800MHz de uso comercial em países europeus.	202

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Carga da célula LTE versus margem de interferência.	51
Tabela 2 – Parte da tabela 7.1.7.2.1-1 de 3GPP (2019), tamanhos do bloco de transporte.	52
Tabela 3 – Placas das Estações Rádio Base (ERBs).	104
Tabela 4 - Pontuação principais ferramentas.	134
Tabela 5 – Resultado SUS para rádio TETRAPOL, TPH 700, AIRBUS.	148
Tabela 6 – Resultado SUS para rádio TETRA, MTP 3250, Motorola.	149
Tabela 7 – Resultado SUS para rádio APCO25, APX 2000 sem DTMF, Motorola.	149
Tabela 8 - Cenários de gastos.	154

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	OBJETIVOS	17
1.1.1	Objetivo geral	17
1.1.2	Objetivos específicos	18
1.2	ADERÊNCIA DO TEMA À CIÊNCIA DA INFORMAÇÃO	18
1.3	JUSTIFICATIVA DO TEMA	20
2	REVISÃO DE LITERATURA	22
2.1	AVALIAÇÃO DE TECNOLOGIA	22
2.1.1	Contextualização da Inovação Tecnológica	24
2.2	SISTEMAS, PROCESSOS E SISTEMISMO	25
2.2.1	Proposição do Sistema no Exercício de Avaliação de Tecnologia	28
2.3	TEORIA DA ATIVIDADE APLICADA À PESQUISA	30
2.4	SISTEMAS DE RADIOCOMUNICAÇÃO: COMPREENSÕES NECESSÁRIAS AO EXERCÍCIO DE AT	32
2.5	CUSTOS DO CRIME: COMPREENSÕES NECESSÁRIAS AO EXERCÍCIO DE AT	39
3	TECNOLOGIA A SER AVALIADA: RADIOCOMUNICAÇÃO DIGITAL PARA SEGURANÇA PÚBLICA	44
3.1	LTE E LTE-ADVANCED APLICADOS EM REDES DE COMUNICAÇÃO CRÍTICA	47
3.2	TÉCNICA MULTIANTENA - MIMO	55
3.3	CATEGORIAS DE EQUIPAMENTOS DO USUÁRIO	57
3.4	LTE-ADVANCED	58
3.5	MODOS DE OPERAÇÃO TDD E FDD	58
3.6	COMPARAÇÕES ENTRE LTE E LMR	59
3.7	INTEROPERABILIDADE ENTRE REDES LTE E LMR	60
3.8	REDES LTE PARA COMUNICAÇÕES CRÍTICAS EM PAÍSES DE REFERÊNCIA	62
3.8.1	Projeto <i>FirstNet</i> nos EUA	64
3.8.2	Projeto ESMCP no Reino Unido	66
3.8.3	Projeto <i>Red Compartida</i> no México	67
3.8.4	Aplicativos e terminais utilizados nas redes LTE para CC e interligação às redes	

		14
	LMR	69
4	SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO CRÍTICA E AVALIAÇÃO DE TECNOLOGIA: ANÁLISE A PARTIR DA REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA	73
4.1	ETAPAS DA APLICAÇÃO	73
4.1.1	Localização e seleção dos estudos	74
4.1.2	Utilização das palavras-chave para realização da RSL	77
4.1.3	Análise crítica dos estudos	77
4.1.4	Seleção e análise dos dados obtidos	78
5	CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA	79
6	METODOLOGIA PROPOSTA: MODELO DE SEIS PASSOS PARA AT	80
6.1	PASSOS 1 E 2 – ENTENDIMENTO DO SISTEMA DE ATIVIDADES E CONSTRUÇÃO DO CANVAS	82
6.2	PASSO 3 – CONSTRUÇÃO DO SISTEMA ATRAVÉS DO CESM	84
6.3	PASSO 4 – CONSTRUÇÃO DO MODELO DE AVALIAÇÃO TECNOLÓGICA	86
6.3.1	Dimensão Tecnologia	88
6.3.2	Dimensão Especialistas	90
6.3.3	Dimensão Usuários	90
6.3.4	Dimensão Empresas Privadas	96
6.3.5	Dimensão Sociedade	97
6.3.6	Dimensão Governo	98
6.4	PASSO 5 - PROVAS DE CONCEITO PARA NOVAS TECNOLOGIAS	100
7	ESTUDO DE CASO: LEVANTAMENTO DE CUSTOS PARA OS CENÁRIOS	101
7.1	IMPLANTAÇÃO DO CENÁRIO 1, MANUTENÇÃO E ATUALIZAÇÃO DA ATUAL REDE, TETRAPOL EM 450MHZ	105
7.1.1	Manutenção dos sistemas irradiantes	107
7.1.2	Manutenção dos contêineres	111
7.1.3	Manutenção das estruturas verticais	112
7.2	IMPLANTAÇÃO DO CENÁRIO 2: ATUALIZAÇÃO DA REDE TETRAPOL EM 450MHZ (HÍBRIDA COM LTE)	113
7.3	IMPLANTAÇÃO DO CENÁRIO 2: MIGRAÇÃO DA REDE TETRAPOL PARA 380MHZ (HÍBRIDA COM LTE)	114
7.4	IMPLANTAÇÃO DO CENÁRIO 2: INSTALAÇÃO DO SISTEMA TETRA EM	

		15
	380MHZ	117
7.5	IMPLANTAÇÃO DO CENÁRIO 3: REDE ÚNICA PARA CC EM LTE	118
8	APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA ATRAVÉS DE ESTUDO DE CASO: RESULTADOS	120
8.1	PASSOS 1 E 2	122
8.2	PASSO 3	124
8.3	PASSO 4 – CONSTRUÇÃO DE PROPOSTA DO MODELO PARA AT: RESULTADOS DIMENSÕES	128
8.3.1	Medições das percepções da tecnologia	128
8.3.2	Medições da percepção dos sistemas de CC por parte dos especialistas	136
8.3.2.1	Cenário 1 - Melhoria dos atuais sistemas em LMR	136
8.3.2.2	Cenário 2: Sistema híbrido LMR e LTE	137
8.3.2.3	Cenário 3: Implantação de uma rede única LTE para CC	139
8.3.3	Medições da percepção dos usuários	142
8.3.3.1	Metodologia aplicada para dimensão usuários em sistemas LMR	142
8.3.3.2	Metodologia aplicada para dimensão usuários em sistemas LTE	150
8.3.4	Medições das empresas privadas	150
8.3.5	Medições da percepção da segurança pública por parte da sociedade	151
8.3.6	Medições de governo	154
8.4	PASSO 5 - CONSIDERAÇÕES SOBRE A REALIZAÇÃO DA POC	157
8.5	PASSO 6: APRESENTAÇÃO DO MODELO DE AT COM PESOS PARA OS CRITÉRIOS ATENDIDOS PELAS TECNOLOGIAS AVALIADAS	158
9	BREVE DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	163
10	CONSIDERAÇÕES FINAIS	171
10.1	ESTUDO FUTUROS	174
	REFERÊNCIAS	175
	APÊNDICE A – QUADROS RESULTADOS DAS ENTREVISTAS	185
	APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO DIMENSÃO TECNOLOGIA	194
	APÊNDICE C – QUESTIONÁRIO DIMENSÃO TECNOLOGIA, PRINCIPAIS FERRAMENTAS	199
	APÊNDICE D – ELABORAÇÃO DE MODELO PARA POC EM COMUNICAÇÃO CRÍTICA LTE	202
	APÊNDICE E - TERMO DE PARTICIPAÇÃO EM PESQUISA ACADÊMICA	226

1 INTRODUÇÃO

Conexão de voz e dados sem problemas, com alta eficiência e sempre disponível, são requisitos para comunicações realizadas por órgãos de gerenciamentos de riscos e emergências, denominados como *Public Safety*, como as agências de segurança pública e defesa.

Durante os cenários de emergência e desastres naturais, a capacidade de salvar vidas depende de uma comunicação confiável, eficaz e eficiente, para uso no teatro de operações, por isto, esta comunicação é denominada Comunicação Crítica (CC), com existência de protocolos internacionais e sistemas próprios para este fim.

A criminalidade é um fenômeno mundial e alguns países estão investindo em estratégias e tecnologias para diminuir o sofrimento de suas comunidades, sendo a sociedade a principal beneficiária de uma polícia com recursos tecnológicos eficientes e efetivos.

De acordo com a Organização Mundial de Saúde (OMS), em 2015, o Brasil teve 30,5 homicídios para cada 100 mil habitantes, a nona maior taxa entre 183 países pesquisados. Naquele ano, a taxa mundial de homicídios era de 6,4 ocorrências para cada 100 mil habitantes, dados estes considerados endêmicos (OMS, 2018).

De acordo com estudos realizados em 2017, pelo Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID), o Brasil é o país da América Latina e Caribe (ALC), com os maiores custos do crime. A violência representou uma perda de US\$ 75.895 milhões em 2014, representando 53% do custo total do crime na ALC e 3,14% do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro (BID, 2017).

Tendo em vista que violência traz perdas econômicas consideráveis, com a redução do desenvolvimento econômico e social, o Estado vem investindo quantias significativas na área de segurança pública. De acordo com o Fórum Brasileiro de Segurança Pública (2017), em 2017 foram gastos 81 bilhões de reais com segurança pela União, Estados e Municípios.

Contudo, os custos econômicos da violência não se restringem ao gasto orçamentário governamental com os órgãos de segurança. Os prejuízos decorrentes do crime podem ser observados em pontos como: redução da expectativa de vida; montante de gastos com saúde; sensação generalizada de insegurança; elevados custos judiciais e despesas com seguro.

De acordo com Khan (1999), na tentativa de se quantificar a criminalidade, surgem questionamentos sobre as consequências para a sociedade frente ao crescimento dos índices de criminalidade, e das formas adequadas dos investimentos em segurança pública.

Gastos com segurança pública implicam (ou deveriam implicar) em uma redução da criminalidade. Quando um grande número de crimes deixa de ocorrer, devido aos custeios com

segurança, considerando o fator preventivo, este montante não pode ser considerado custo, tratando-se de investimento, quando ajudam na prevenção do crime (KHAN, 1999).

Os números apresentados, reforçam a necessidade de reformulações das políticas públicas na área de segurança pública no Brasil. Investimentos em tecnologia necessitam de análise prévia dos impactos na sociedade e, se possível, estimar quanto determinada tecnologia irá reduzir os custos do crime. Desta forma, pretende-se utilizar as tecnologias de forma eficiente, analisando o real impacto na comunidade, antes do uso do dinheiro público.

Nestes termos, os agentes públicos precisam ampliar os horizontes da reflexão, através de uma análise ampla e crítica, objetivando a maximização dos efeitos positivos e minimização dos efeitos negativos na sociedade.

Este olhar crítico, considerando não apenas os aspectos técnicos, como também, fatores econômicos e o contexto social, são ideais defendidos pela Avaliação Tecnológica (AT). Utilizando-se de diversas fontes de informações, forma-se um único sistema informacional, que pretende apontar o melhor caminho de investimentos tecnológicos, auxiliando, desta forma, os gestores destes órgãos no processo de Tomada de Decisão.

Uma avaliação e comparação das alternativas tecnológicas, também pode ser implementada através do desenho de um sistema de informação apropriado. Analisando fatores tecnológicos e sociais, sendo estes fatores as entradas e as saídas destes sistemas. Estes podem ser retroalimentados ou não, como a representação em diagramas de blocos, considerando as funções dos componentes e o fluxo de informações entre eles.

Diante do exposto, esta pesquisa pretende responder ao questionamento:

- Como aperfeiçoar o processo de Tomada de Decisão das comunicações críticas a serem utilizadas pelos órgãos de segurança pública no Brasil?

1.1 OBJETIVOS

A pesquisa está delimitada em objetivo geral e objetivos específicos, sendo estes:

1.1.1 Objetivo geral

Propor uma metodologia de Avaliação Tecnológica para comunicações críticas na área de Segurança Pública como subsídio para a Tomada de Decisão.

1.1.2 Objetivos específicos

- 1) Identificar os requisitos de análise a serem abordados no exercício de AT.
- 2) Criar uma metodologia para AT em comunicações críticas.
- 3) Comparar dados entre o cenário atual e o cenário desejado, de acordo com os especialistas.
- 4) Analisar casos de implantações bem-sucedidas do *Long Term Evolution* (LTE), além de verificar quais parâmetros devem ser avaliados para realização de prova de conceito para LTE em CC, visando fornecer dados para auxiliar no processo de Tomada de Decisão.
- 5) Atribuir pesos para os critérios estabelecidos para cada tecnologia ou cenário, baseado na formulação de um canvas do Sistema de Atividades.
- 6) Realizar um exercício de AT para decisão de aquisição / adoção tecnológica para sistemas de comunicação crítica no Brasil a partir da metodologia proposta.

1.2 ADERÊNCIA DO TEMA À CIÊNCIA DA INFORMAÇÃO

A comunicação está presente em todas as ações policiais, neste estudo é analisada a comunicação utilizada em sistemas de radiocomunicação digital pelos órgãos de segurança pública. Portanto, a informação considerada neste processo possui um contexto social abrangente, sendo este, toda a comunidade onde o órgão atua.

Justifica-se assim a importância em aproximar este estudo da Ciência da Informação (CI), para além das ciências exatas. Nas palavras de (WERSIG; NEVELING, 1975, p.173) “[...] transmitir o conhecimento para aqueles que dele necessitam é uma responsabilidade social, e essa responsabilidade social parece ser o verdadeiro fundamento da CI”. Indo mais além, a transmissão do conhecimento precisa ser otimizada, para que esta responsabilidade social da CI possa ser atingida. A realização do exercício de AT busca consolidar as informações estratégicas, no intuito de auxiliar os gestores dos órgãos de segurança no processo decisório.

O objeto de estudo permeia um problema informacional, portanto, a CI apresenta potencialidades de contribuição dada a interdisciplinaridade e a natureza de ciência social aplicada. De acordo com Borko (1968), a CI tem tanto um componente de ciência pura, que se dá através da pesquisa dos fundamentos, sem se preocupar com sua aplicação, quanto um componente de ciência aplicada, ao desenvolver produtos e serviços.

Desta forma, a transmissão, transformação e uso de informação estão na área de estudos da CI. Buscando-se, através do caráter interdisciplinar desta ciência, agregar conceitos de outras áreas do conhecimento, para auxiliar no processo informacional em análise. Esta característica interdisciplinar, de acordo com Saracevic (1996), constitui até mesmo um dos motivos da existência da CI, além do imperativo tecnológico imposto à atual sociedade da informação, que vincula inexoravelmente a CI à tecnologia da informação.

Apesar de existirem variadas definições do termo 'informação', este estudo apropria-se dos termos consolidados no campo da CI. De acordo com Buckland (1991), podem ser identificados três sentidos para informação: como processo, sendo este o ato de informar, de transmitir o conhecimento; como conhecimento, sendo este o que é percebido da informação como processo; como coisa, que podem ser atribuídos a objetos como documentos.

Neste contexto, as ferramentas utilizadas para viabilizar o Sistema de Atividades Comunicação Crítica (CC), como, por exemplo, o rádio, é uma informação, podendo ser categorizada como informação como coisa, considerando que será um dos objetos de análise.

As *interfaces* do rádio, por exemplo, devem ser disponibilizadas de tal forma que o usuário consiga utilizar o artefato de modo eficiente, eficaz e satisfatório. Possibilitando o recebimento da informação, como também, execução dos comandos necessários e suficientes para a realização das tarefas. Portanto, podem ser entendidas como informação como processo.

A percepção do usuário, por exemplo, pode ser entendida como informação como conhecimento, sendo este o que é percebido da informação como processo. Podendo ser mensurada através da aplicação de técnicas e métodos de usabilidade e experiência do usuário.

Desta forma, como a AT analisa o problema de forma ampla, nesta pesquisa, a informação será trabalhada como coisa, processo e conhecimento. Dependendo do contexto e da amplitude da análise, e do fluxo informacional entre os elementos.

A noção de informação como a que reduz a incerteza pode ser vista como um caso especial de informação como conhecimento, às vezes a informação aumenta a incerteza ao invés de diminuí-la (BUCKLAND, 1991). Através de uma AT, considerando diversos fatores como: usuários, especialistas, tecnologia, sociedade, governo e empresas privadas, busca-se verificar as informações necessárias para o auxílio no processo de tomada de decisão, analisando, de forma ampla, os contextos envolvidos, buscando, através da gestão da informação, reduzir a incerteza. Neste sentido, a compatibilização de mecanismos e padrões de tratamento da informação podem minimizar conflitos na ecologia informacional.

Até que a tecnologia tenha capacidade para permitir a interação direta entre os vários manipuladores da informação, tal incompatibilidade não constitui

problema sério. Mas, com o aumento das novas capacidades tecnológicas e do número de novos atores no processo, além das crescentes demandas de informação orientada para o usuário, o alto grau de incompatibilidade torna-se crítico“ (SARACEVIC, 1996, p. 59).

Os problemas tratados por AT são amplos, portanto, as tentativas de solução não podem ser desenvolvidas isoladamente dos demais atores e mecanismos da cadeia ecológica, exigindo, como regra, a consideração dos vários outros atores e mecanismos no conjunto maior da ecologia informacional.

Segundo Saracevic (1996), considerando que a ciência e a tecnologia são críticas para a sociedade da informação, prover meios para que os indivíduos sejam fornecidos de informações relevantes, também se faz crítico. Neste sentido, a AT, no intuito de auxiliar no processo decisório, executa um papel considerado crítico.

1.3 JUSTIFICATIVA DO TEMA

As formas como as pessoas se comunicam e o impacto disto na sociedade, afeta os comportamentos, as relações humanas e de trabalho. Dentro do contexto desta pesquisa, verifica-se que a comunicação está presente em todas as ações policiais, sendo a comunicação tratada dentro do objeto deste estudo, aquela utilizada em sistemas de radiocomunicação digital.

A comunicação possui abordagens e contextos amplos que dificultam a teorização, contudo, mesmo com estas dificuldades, pode-se verificar que em todo processo de comunicação estão presentes alguns elementos, sendo estes: os interlocutores, sendo aqueles que emitem e a quem se destina a comunicação; mensagens, sequência de sinais transmitidos que formam signos a serem organizados através de códigos compreendidos pelo receptor; meios, que são os mecanismos utilizados na transmissão da mensagem; contexto, local onde o ato comunicativo se realiza, do ponto de vista histórico, cultural e social (SANTOS, 2003).

O processo informacional é individual e subjetivo, já as tecnologias têm seus meios e linguagens próprias, variando de acordo com o meio pelo qual a informação é representada e veiculada, desde uma chamada telefônica até um jornal impresso.

De acordo com Buckland (1991, p. 12) “[...] O progresso em tecnologia da informação altera o processo de criar e utilizar informação-como-coisa. Muitas informações em sistemas de informação têm sido processadas, codificadas, interpretadas, resumidas, por fim, transformadas”.

O sistema contemporâneo tem como característica a capacidade de transformação das diversas informações em um único sistema de informação, com capacidades cada vez maiores

a custo cada vez menores e disponível em toda parte (CASTELLS, 1999). Possuindo alta penetrabilidade e flexibilidade, com uma crescente tendência de convergência, com a atual sociedade relacionando-se através de redes (WERTHEIN, 2000).

A atual revolução refere-se à tecnologia da informação, sendo a sua importância similar às novas fontes de energia no âmbito das revoluções industriais. Esta revolução consegue conectar pessoas separadas territorialmente em um único sistema informacional, democratizando o conhecimento, contudo, há vários segmentos da população que ainda estão desconectados, e este não acesso representa, atualmente, uma fonte de desigualdade social, influenciando no desenvolvimento econômico destes grupos não inseridos (CASTELLS, 1999).

Os desafios desta sociedade afetam diversas áreas, no campo da segurança pública, por exemplo, um dos desafios está em identificar tecnologias da informação capazes de reduzir a criminalidade, e aumentar a sensação de segurança na população.

A região da ALC teve progressos em muitas áreas socioeconômicas, entre 2004 e 2014, a maioria dos países apresentou taxas de crescimento anual de quase 4% e as taxas de pobreza caíram. A população tornou-se mais saudável e com maior escolaridade, o objetivo de reduzir para metade, entre 1990 e 2015, o número de pessoas vivendo com menos de US\$ 1,25 por dia, foi atingido em 2008, sete anos antes da meta (BID, 2017).

Contudo, apesar dos avanços, a criminalidade na região tem aumentado com níveis de crime e violência considerados epidêmicos pela OMS. A região é responsável por quase um terço das vítimas de homicídios no mundo, apesar de possuir apenas 9% da população mundial. Seis em cada dez assaltos envolvem violência e 90% dos assassinatos não são resolvidos. Além disso, as prisões na região são as mais cheias do mundo (BID, 2017).

Países mais pobres possuem um maior custo do crime, com uma parcela representativa em seus PIBs, sendo necessário realizar investimentos públicos visando a redução da criminalidade, que podem ou não ter efeitos na sociedade. Este recurso poderia ser utilizado para investimentos em outras áreas, como, por exemplo, em ciência e tecnologia, que, de acordo com as teorias de Castells (1999) e Werthein (2000), poderiam gerar um ambiente mais propício para inovação e para a inclusão na atual sociedade da informação.

Esta visão ampla, considerando aspectos técnicos, fatores econômicos e o contexto social é o que se entende por AT, e se encaixa no contexto da sociedade da informação. Utilizando-se diversas fontes de informações, forma-se um único sistema informacional, com o objetivo de apontar o melhor caminho de investimentos tecnológicos, com maiores efeitos positivos na sociedade.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A presente seção apresenta uma revisão de literatura dos temas considerados mais importantes para a realização do exercício de AT em CC, sendo estes: Avaliação de Tecnologia; Inovação; Sistemas, Processos e Sistemismo; Sistemas de Radiocomunicação; Teoria da Atividade e Custos do Crime.

2.1 AVALIAÇÃO DE TECNOLOGIA

As organizações, por diversos fatores, buscam gerar e adotar inovações tecnológicas, sendo adoção quando a inovação é desenvolvida em outros lugares e é nova para a organização que adota. Estes fatores podem ser, por exemplo, operar de forma eficiente e eficaz, ganhar vantagem competitiva sobre a concorrência, ou, até mesmo, para se adaptar ao ambiente que está inserida (DAMANPOUR, 2017).

Contudo, antes da escolha de uma tecnologia, deve-se analisar diversas perspectivas de informações, em diversas áreas, buscando consolidar estas, através de um método científico, que possibilite verificar o impacto que a implantação de determinada tecnologia irá representar dentro do contexto pesquisado.

A organização considerada neste estudo, é um sistema que está inserido dentro de um ambiente com o qual interage, sendo um sistema aberto, composto de partes interdependentes, também chamadas de subsistemas (ACKOFF, 1981; EMERY; TRIST, 1960). Quando uma organização opta por uma inovação tecnológica, pode ser inclusive dentro de um contexto de mudança tecnológica, que é a mudança na sociedade devida à tecnologia, sendo o resultado de uma série de inovações, em contextos distintos que acabam por afetar a sociedade (DAMANPOUR, 2017).

Com relação à estrutura de capacidades destas organizações, Chesbrough (2003) escreve sobre classes de fatores que afetam o que uma organização pode ou não fazer, sendo estes: recursos, processos e valores. Recursos podem ser funcionários, clientes, equipamentos, dentre outros. Já os processos mais importantes a serem examinados, são os que apoiam a Tomada de Decisão de investimento. Os valores são os critérios pelos quais são realizadas as prioridades sobre as decisões. A AT pretende ser um apoio para a Tomada de Decisão, portanto, nesta classificação, faz parte do processo.

De acordo com Rattner (1979, p. 79) “A avaliação de tecnologia representa um método de antecipação das repercussões, no meio ambiente natural e social, da aplicação de uma

determinada tecnologia, objetivando a maximização de seus efeitos positivos e a neutralização dos negativos.”

Os estudos em AT iniciaram no final dos anos 60, como uma ferramenta de alerta precoce para informar os governos sobre os possíveis efeitos negativos das novas tecnologias. No início dos anos 70, a AT passa a ser um instrumento de análise de políticas públicas, nos anos 80 a AT passa a ser utilizada para apoiar vários atores envolvidos na Tomada de Decisões. Já no final dos anos 80, a noção de Avaliação de Tecnologia Construtiva (ATC) surge na Europa, com tipos diferentes de ATC, dependendo do público, fase e desenvolvimento tecnológico, tendo como ponto principal, a antecipação dos aspectos sociais em um estágio inicial, para indicação da melhor tecnologia para a sociedade (MERKERK; SMITS, 2008).

Para uma aprofundada avaliação, é necessária uma análise detalhada do projeto, de forma que, alguns resultados possam ser previstos a partir das condições iniciais consideradas. Desta forma, viabilizando a comparação de sistemas distintos e considerando os mesmos parâmetros de referência.

Neste sentido, a AT pode estabelecer a ponte entre a realidade atual e a situação desejada, conforme a Figura 1. Na medida em que se conhece o contexto existente e indicativos do que se deseja, a AT, através de parâmetros identificados como relevantes ao objeto da atividade, pode contribuir para a Tomada de Decisão para definição de soluções.

Figura 1 – Avaliação de Tecnologia, contexto existente e situação desejada.



Fonte: Elaboração própria.

A AT ou *Technology Assessment*, pode ser realizada a partir do levantamento do cenário atual e projeções de cenários futuros, incluindo nestas projeções, a realização de provas de conceito, *Proof of Concept* (PoC), para o caso das novas tecnologias.

No presente estudo, a AT realizada a partir do ambiente acadêmico em cooperação com uma organização de segurança pública, tem a pretensão também de ampliar o papel da universidade em relação à infraestrutura da sociedade, com o apoio do governo federal e de parcerias com empresas privadas, visando modernizar os atuais sistemas de CC no Brasil, tendo como resultado desejado, a redução da criminalidade.

2.1.1 Contextualização da Inovação Tecnológica

A Organização para Cooperação Econômica e Desenvolvimento (OECD), através do Manual de Oslo, define inovação como: “implementação de um produto (bem ou serviço) novo ou significativamente melhorado, ou um processo, ou um novo método de *marketing*, ou um novo método organizacional nas práticas de negócios, na organização do local de trabalho ou nas relações externas” (OECD, 2005, p. 55). A OCDE define ainda como base, quatro tipos de inovação, sendo estas: produto, processo, *marketing* ou organizacional.

As inovações de produto envolvem mudanças significativas nas potencialidades de produtos e serviços. Incluem-se bens e serviços totalmente novos e aperfeiçoamentos importantes para produtos existentes. Inovações de processo representam mudanças significativas nos métodos de produção e de distribuição. As inovações organizacionais referem-se à implementação de novos métodos organizacionais, tais como mudanças em práticas de negócios, na organização do local de trabalho ou nas relações externas da empresa. As inovações de *marketing* envolvem a implementação de novos métodos de *marketing*, incluindo mudanças no *design* do produto e na embalagem, na promoção do produto e sua colocação, e em métodos de estabelecimento de preços de bens e de serviços” (OECD, 2005, p. 23).

As inovações também podem ser tecnológicas ou não, produto ou processo, radicais ou incrementais, podendo ser vista como um processo sequencial, conforme Figura 2 (HAGE; AIKEN, 1970; DAMANPOUR, 2017; ROGERS, 1995).

Figura 2 – Inovação como um processo sequencial.



Fonte: Elaboração própria.

Já entre as tipologias de inovação, Damanpour (2017) divide estas em quatro pares, sendo estes: produto – processo; técnico–gerencial; radical-incremental e orgânico-aberto.

A inovação de produtos visa atender necessidades do usuário, podendo ser um novo produto ou serviço, incorporadas nos resultados da organização. Já a inovação de processo diz respeito à produção do produto ou serviço, através da inserção de elementos na cadeia de produção, visando eficiência ou eficácia. Tem foco interno na organização (SCHILLING, 2013; DAMANPOUR, 2017).

A inovação técnica está em ideias para novos produtos, processos ou serviços. Já a inovação gerencial está na forma com que como o trabalho é realizado dentro das organizações (EVAN, 1996; DAMANPOUR, 2017). Referente ao grau de impacto, as inovações radicais

modificam a base das atividades dentro da organização. Já inovações incrementais, são pequenas modificações das práticas já existentes (DAMANPOUR, 2017).

Inovação orgânica é quando o novo produto, processo ou serviço é desenvolvido na organização. Já na inovação aberta, a organização desenvolve juntamente ou através de parceiros através de cooperações (CHESBROUGH, 2003; DAMANPOUR, 2017).

A conceptualização de inovação é utilizada neste estudo, sobretudo, na dimensão tecnologia do modelo proposto para AT. A forma sugerida por este trabalho, para valoração desta dimensão, é a utilização dos dados obtidos através da revisão bibliográfica, para melhor entendimento da tecnologia; análise do canvas, campos ferramentas e objeto; além das respostas aos questionários, conforme se apresentará a partir da Seção 6.

Para a escolha do ambiente de inovação mais adequado, deverão ser considerados vários pontos, como, por exemplo, quais serão os objetivos da inovação, podendo ser, por exemplo, a formação de recursos humanos qualificados. Os pontos a serem considerados, podem ser verificados em detalhes no trabalho de Freire e Cândido (2019), que propõem um *framework* para criação de ambientes de inovação em órgãos de segurança pública no Brasil.

Para auxílio na escolha da melhor opção entre diferentes tecnologias, recomenda-se que o governo seja analisado tanto como regulador quanto como fomentador. No canvas, apresentado no capítulo de resultados (Capítulo 8), são identificados quais são os atores, os meios e o objetivo da atividade. As entrevistas também possibilitam melhor entendimento dos anseios por parte dos especialistas, com relação ao que a tecnologia deve abranger.

Com isto, pode-se identificar que tipo de inovação é necessária para a organização, bem como, verificar se com a tecnologia atualmente utilizada, consegue-se atender as demandas, necessitando apenas de inovações incrementais para atender os objetivos, ou, se realmente será necessário o desenvolvimento ou adoção de uma nova tecnologia.

2.2 SISTEMAS, PROCESSOS E SISTEMISMO

Busca-se neste estudo o entendimento do problema de forma sistêmica, utilizando-se de estratégias de outras ciências para simplificar a análise, tendo como objetivo, a proposição de um modelo sistêmico para AT de sistemas de CC. Fazendo uma análise envolvendo comunicação, informação e sistemas, tem-se que:

O matemático e engenheiro eletricista Claude Shannon, em 1948, publicou a teoria matemática da informação, propondo um sistema geral de comunicação, baseado em seus estudos sobre criptografia durante a guerra. Esta teoria acabou por ser o resultado de trabalhos

iniciados ainda em 1910, pelo matemático Andrei Markov, seguidos dos trabalhos de Ralph Hartley, em 1927, que pensou no que seria os primórdios dos números binários; Alan Turing, em 1936, que projetou uma máquina que lia esta estrutura primária idealizada por Hartley. John Von Neuman entre 1944 e 1946, construiu uma grande máquina de calcular eletrônica (MATTELART; MATTELART, 2007).

Shannon recaí sua atenção sobre a lógica do mecanismo e após publicação de seu texto, vários pesquisadores chegam a visão que, o processo de comunicação responde a um esquema linear, afetado por fenômenos não previsíveis, entre um emissor, que produz com liberdade a mensagem, codifica e transmite, e um destinatário, que recebe e decodifica a mensagem. Neste processo, são inclusas as noções de: informação; transmissão; codificação; decodificação; recodificação; redundância; ruído disruptor e liberdade de escolha (MATTELART; MATTELART, 2007).

Após a publicação do trabalho de Shannon, vieram outros estudos, chamados por Mattelart e Mattelart (2007, p. 61) como “abordagem sistêmica de primeira geração” onde o vocabulário de informação passa a ser adotado na biologia por importantes pesquisadores como Erwin Schrödinger, Oswald Avery, entre outros. Em trabalhos sobre biologia molecular, como, códigos genéticos e estrutura do DNA. Em 1933, Ludwig Von Bertalanffy desenvolve a “teoria dos sistemas” com o objetivo de pensar no todo, tendo as interações entre os elementos uma maior importância que a causalidade.

A ciência política foi o primeiro campo de atuação da teoria dos sistemas, sendo a vida política um “sistema de conduta” de entradas e saídas, distinguindo-se do meio ao qual se encontra, mas, vulnerável as suas influências e adaptando-se a ele; os membros do sistema, quando tentam equilibrar uma tensão, podem provocar variações nas estruturas e processos, sendo o sucesso obtido neste esforço, dependente da informação que retornam (*feedback*) aos atores e tomadores de decisão (MATTELART; MATTELART, 2007).

A rapidez e a exatidão no momento da coleta e do tratamento das informações determinarão as respostas do sistema. O cientista David Easton também foi importante para esta abordagem sistêmica, desenvolvendo a informação como um instrumento para a viabilização de estudos comparativos de formas políticas. A partir disto, outros estudiosos da comunicação de massa aplicam o modelo sistêmico sobre o processo de formação da Tomada de Decisão na política (MATTELART; MATTELART, 2007).

Melvin De Fleur, em 1960, utiliza o esquema linear de Shannon com o *feedback* do “sistema social”, considerando os meios de comunicação como sistemas independentes, mas vinculados entre si, encarregados da produção e distribuição da informação, com vários atores

envolvidos nestas duas funções, como, por exemplo, os institutos para medição de audiência. Em 1975, Abraham Moles cria o termo “ecologia da comunicação”, utilizando os conceitos de Shannon e de Wiener (ex-professor de Shannon, autor do livro *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine* (1961)), sendo a ecologia da comunicação considerada como a ciência da interação em um dado campo por espécies distintas, sendo estas espécies reagindo umas com as outras (MATTELART; MATTELART, 2007).

Como pode-se verificar, o conceito sistêmico está diretamente ligado aos conceitos de informação, procurando um melhor entendimento do sistema, dos atores, dos processos, do meio e das relações entre todos e a influência no sistema. Assim como, a Teoria da Atividade (TA), que será abordada posteriormente, também possui elementos que indicam ter profunda relação com a teoria sistêmica.

Para uma visão sistêmica mais ampla, optou-se por também utilizar conceitos advindos da pesquisa sistemista de Bunge (1980), Bunge (2003), Bunge (2005), Bunge (1985). De acordo com Silva, Vianna e Kern (2016, p. 141), tem-se que:

O sistemismo é uma visão de mundo que pode ser utilizada como base nos estudos empíricos de qualquer sistema, incluindo sistemas técnicos e sociais que tenham foco em informação, sejam unidades ou serviços de informação, bases de dados, sistemas de informação etc. Logo, é uma teoria com aplicabilidade em diversas áreas, incluindo a CI.

Dos estudos de sistemismo pode-se inferir que: se o sistema for bem estudado pode-se ter resultados não intuitivos, mas previsíveis. Para prever o efeito de uma ação, não se pode buscar só relações causa-efeito diretas e sim considerar todo o sistema e então achar a esfera de influência próxima (um ou dois graus a partir daquela ação). Abraçar a complexidade pode levar a respostas simples, frequentemente diferentes das pensadas no início.

A epistemologia adaptada por Bunge é o realismo científico, tendo o sistemismo como fundamento ontológico. A ontologia engloba as questões gerais relacionadas ao significado do ser e da existência, já a epistemologia trata da origem e validade do conhecimento científico nas suas diferentes áreas. Bunge (1985) afirma que o realismo científico é a epistemologia que é inerente à investigação científica, buscando estudar o mundo real e não em criar mundos imaginários.

Existem duas abordagens filosóficas amplas, o holismo e o individualismo, o sistemismo é apresentado como uma abordagem que, ao mesmo tempo, refuta e conjuga estas duas (KERN, 2011). Por exemplo, como redução individualista tem-se a micro redução onde cada ciência estuda alguma forma própria de indivíduo, como na física atômica que foca em

partículas; na química, em moléculas, etc. Com enfoque na composição de sistemas e não admitindo a existência de entidades supra individuais e suas propriedades.

Já na redução holista, existe a macrorredução, que reduz tudo ao todo e aborda um sistema na totalidade, se negando a analisar as partes e a quebra de totalidades em termos de seus componentes e interações. Na visão sistêmica, as partes não estão isoladas e sim relacionadas entre si, através da representação de um sistema concreto.

Bunge (1980; 2003) se opõe a abordagens que são demasiadamente reducionistas, reduzindo o que deveria ser irredutível e propõe o modelo CESM (Composição, Ambiente, Estrutura e Mecanismo). Esta redução descreve um sistema em certo nível de: sua composição, sendo esta atômica, ou seja, cada componente é um átomo do sistema; seu ambiente, sendo estes itens externos que atuam ou sofrem ação de algum componente; sua estrutura, que são as ligações entre componentes e entre estes e o ambiente; seu mecanismo, entendido como os processos que atuam sobre as transformações e ocasionam, por exemplo, o crescimento ou o colapso do sistema, ou de alguma propriedade.

Silva, Vianna e Kern (2016, p. 153) resumem em sete regras metodológicas gerais a abordagem de problemas recomendada pelo sistemismo de Bunge, sendo estas:

Colocar todo fato social em seu contexto mais amplo (ou sistema); dividir cada sistema em sua composição, ambiente e estrutura; distinguir os vários níveis de sistema e exibir suas relações; procurar ou conjecturar os mecanismos; verificar a hipótese ou teoria mecanísmica manipulando experimentalmente as variáveis referidas; preferir hipóteses, teorias e explicações mecanísmicas (dinâmicas) às fenomenológicas (cinemáticas) e aos modelos de equilíbrio e descrições de dados; em caso do mau funcionamento do sistema, examinar todas as quatro fontes possíveis (C, E, S, M) e tentar reparar o sistema alterando algumas ou todas as fontes.

No decorrer deste trabalho buscar-se-á aplicar as regras metodológicas de Bunge, assim como, conceitos de outras ciências, que possam ter valor agregado para a construção do modelo sistêmico para o objeto de estudo.

2.2.1 Proposição do Sistema no Exercício de Avaliação de Tecnologia

Partindo do ponto de vista que qualquer sistema informacional possa ser categorizado como um processo, com diferentes entradas e saídas. Este processo pode ser melhorado através das aplicações de teorias de sistemas de controle modernos, da engenharia de produção, ou ainda, qualquer outra área de conhecimento que venha a tratar a informação como um sistema ou até mesmo como um processo. Devendo-se sempre estabelecer um compromisso entre a simplicidade do modelo e a precisão dos resultados da análise.

Por meio de uma revisão bibliográfica, foi verificada a viabilidade da aplicação de alguns conceitos da Engenharia de Controle Moderno ao estudo. O controle automático de sistemas provê meios que possibilitam melhor desempenho para sistemas dinâmicos.

Em engenharia de controle, a descrição de sistemas com muitas entradas e saídas envolve um grande número de equações, e o advento de computadores digitais viabilizou esta análise, possibilitando o desenvolvimento das teorias de engenharia de controle com o tratamento de sistemas complexos, como, por exemplo, aplicações espaciais (OGATA, 2000).

Para aplicação das teorias de sistemas de controle ao objeto de pesquisa, faz-se necessário o entendimento de vários conceitos, como, por exemplo, sistema de controle com retroação, que é um sistema que compara grandezas de saída e de referência, comparando estes valores e utilizando a diferença destas medidas como meio de controle.

O corpo humano, por exemplo, é um sistema de controle com retroação, pois, a pressão sanguínea e a temperatura são mantidas constantes através de retroação fisiológica, o que permite ao corpo humano ser, até certo ponto, insensível as perturbações externas, podendo funcionar sob condições ambientais variáveis (OGATA, 2000).

Qualquer objeto físico a ser controlado pode ser designado como sistema a controlar. Componentes de uma máquina que funcionam em conjunto, por exemplo, objetivando executar uma determinada ação, é um sistema a controlar. Já processos são todas operações a serem controladas, segundo o Dicionário Merriam-Webster apud Ogata (2000, p. 2):

Processo é uma operação ou desenvolvimento natural, que evolui progressiva e continuamente caracterizado por uma série de mudanças graduais que se sucedem umas as outras, de modo relativamente fixo e objetivando um resultado particular ou meta, ou, uma operação artificial ou voluntária que evolui progressivamente e se constitui de uma série de ações controladas ou de movimentos sistematicamente dirigidos para se alcançar um determinado resultado.

Já a ação de controle, é a forma pela qual o controlador automático produz o sinal de controle. Para produzir o sinal de controle, o controlador automático compara o valor de saída do processo com o valor de referência, calcula o desvio entre estes sinais e gera um sinal de controle para reduzir o desvio a zero ou a um valor pequeno (OGATA, 2000).

Quando os sistemas apresentam parâmetros imprevisíveis de determinar antecipadamente, o controle a malha fechada se mostra a aplicação mais adequada, mesmo sendo mais complexa. Uma combinação adequada de controle a malha aberta e controle a malha fechada pode ser uma melhor solução com melhor desempenho do sistema.

Estas e outras teorias da engenharia de controle serão úteis para verificação se a metodologia proposta neste estudo pode ser otimizada, como também, se com o melhor

entendimento dos fluxos informacionais, pode-se automatizar algumas previsibilidades de impactos gerados na sociedade, através da utilização de *softwares*.

Tendo em vista que esta pesquisa tem como foco apresentar a metodologia proposta e aplicar para sistemas de CC, a otimização dos sistemas, processos, fluxos, ações de controle, previsibilidade e possível automatização desta, são propostas para estudos futuros.

Neste estudo, é utilizada a engenharia de controle para aplicação de sinais de teste, devido à correlação existente entre a resposta do sistema a um sinal de entrada de teste conhecido, e a capacidade deste mesmo sistema para responder a sinais de entrada reais. Tendo a entrada de teste relação com uma aplicação em um sistema de radiocomunicação digital, comparando diversos sistemas existentes, bem como, uma análise de quais respostas são esperadas se determinada entrada for executada.

Estas respostas esperadas podem ser levantadas considerando os pontos de vista técnico, do usuário, do especialista, assim como, da sociedade que este sistema está inserido. Para isto, é necessária uma análise detalhada do projeto, de forma que alguns resultados possam ser previstos a partir das condições iniciais consideradas.

Verifica-se na prática que muitos dos critérios de projeto são baseados nestes sinais de entrada ou nas respostas esperadas dos sistemas a estes sinais, sem a realização efetiva da aplicação de um sinal de teste. Um exemplo disto, é o desenvolvimento de projetos com a elaboração de soluções fundamentadas prioritariamente no aprendizado pela prática, em possível detrimento do aprendizado pelo uso (ROSEMBERG, 2006).

Este contexto pode tender a proposição de soluções que não considerem amplamente os requisitos do usuário, levando a insatisfação em sua utilização. Estas considerações são importantes no contexto da AT, pois, pode-se, a partir disto, comparar sistemas distintos, considerando os mesmos parâmetros de referência, em um mesmo ambiente.

2.3 TEORIA DA ATIVIDADE APLICADA À PESQUISA

Esta teoria considera que as atividades são desenvolvidas através de ações (conscientes) e operações (inconscientes), na medida que os indivíduos interagem com o ambiente em que estas ocorrem, e que não devem ser entendidas de forma isolada quanto às suas relações sociais (MELLO, 2018).

A TA fornece subsídios para entender o contexto existente da atividade estudada, identificando componentes e suas relações. Ao questionar os especialistas sobre os

“movimentos desejantes”, relatos resumidos no quadro “aspirações e desejos” do apêndice A, foi possível levantar aspectos referentes a situação desejada¹.

A partir das ideias de mediação social e cultural propostas por Vygotsky (1978), Leont’ev (1981) desenvolveu o modelo hierárquico de atividade, e propôs que esta fosse abordada como uma unidade sistêmica e coletiva, direcionada a um objeto que é considerado o principal motivo da atividade (LAZAROU, 2011).

Desta forma, pode-se dizer que a atividade é realizada através de ações orientadas a objetivos. Tomando por base as relações entre o homem e seu objeto, e o uso de ferramentas como mediadoras do processo, tratadas por Vygotsky (1978), Leont’ev (1981) propôs que a atividade teria como componentes básicos o sujeito, o objeto e as ferramentas mediadoras, e categorizou em níveis de estruturação, correspondentes à tríade atividade-ação-operação (MELLO, 2018).

Em contribuição posterior ao modelo, Engeström (1987) incorpora aspectos sociais e culturais da atividade humana e agrega aos componentes já conhecidos (sujeito, objeto e ferramentas) o contexto social, representado pelos componentes: regras sociais, comunidade e divisão de trabalho. Amstel (2010), enfatiza que sistemas de atividade não são entidades isoladas e que interagem com outros sistemas, podendo ocasionar tensões ou conflitos que estão relacionados ao princípio denominado de contradições.

Para a Teoria da Atividade, o objeto se refere à motivação ou propósito da atividade humana em estudo e está orientada à satisfação de objetivos. O sujeito aborda a natureza individual e social da atividade e está relacionado a iniciativas para a satisfação do objetivo compartilhado. As ferramentas são mediadoras do relacionamento entre sujeitos e objeto da atividade, podendo ser físicas ou conceituais.

Ao considerar o contexto social e cultural da atividade, a comunidade constitui o conjunto de participantes que compartilham o mesmo objeto e está relacionada ao contexto social e cultural do ambiente; as regras tratam de convenções e regulamentos, podendo ser explícitos ou não, que afetam os meios pelos quais a atividade é realizada. Já a divisão de trabalho, se refere às relações sociais, alocação de responsabilidades e variações nas funções de trabalho dos sujeitos (MELLO, 2018).

¹ As bases do modelo partem do conceito introduzido por Karl Marx, conhecido como modelo mediador, que define que as interações humanas são mediadas pelo uso de ferramentas e que não ocorrem de forma direta com seu ambiente.

2.4 SISTEMAS DE RADIOCOMUNICAÇÃO: COMPREENSÕES NECESSÁRIAS AO EXERCÍCIO DE AT

As ondas eletromagnéticas são formadas por campos elétricos e magnéticos variáveis no tempo e perpendiculares entre si, sendo ondas transversais, ou seja, perpendiculares à direção de propagação. Outras medidas e conceitos importantes são: intensidade de campo elétrico; fluxo elétrico; teorema da divergência; potencial elétrico; densidade volumétrica de carga; corrente elétrica, equações de Maxwell, leis de Ohm, Faraday, Gauss, Coulomb, Ampere, Biot-Savart, Kirchhoff, dentre outros (HAYT, 2006).

Contudo, esta pesquisa não irá se aprofundar na abordagem matemática, consistindo em apresentar como esta matemática desenvolvida para transmissão da informação pode ser aplicada em um contexto social específico. Tendo em vista que o objeto de estudo são os sistemas de comunicação utilizados pelas forças de segurança pública, o impacto na sociedade é direto, sendo a comunicação aliada nas atividades de segurança pública (salvar vidas, diminuir a criminalidade e aumentar a segurança). Ou seja, não basta aproximar a pesquisa do desenvolvimento matemático e se afastar da ciência social.

A voz humana é uma onda eletromagnética onde as frequências variam de 20Hz a 20KHz. Com relação ao canal de voz, toda a faixa do conteúdo espectral da voz não é utilizada em sistemas de comunicação (HAYT, 2006). A largura de banda utilizada resulta em um compromisso entre o que os usuários esperam ter e o que é economicamente viável. Atendendo recomendações de institutos de padronização, são normalizadas as bandas de frequência para voz, pelo G.132 e G.151 do *International Telecommunications Union* (ITU), (ITU, 2019), a banda é de 300 – 3400Hz, já nos Estados Unidos da América (EUA), a banda atribuída para um canal de voz é 200 a 3200 Hz.

Este sinal de voz deve ser amostrado e elevado para uma frequência superior, pois, seria inviável transmitir um sinal em uma faixa de frequência tão baixa quanto a do canal de voz. Contudo, amostrar significa não transmitir tudo e sim, parte do sinal do canal. Este sinal deve ser amostrado, para, em seguida, ser transmitido em um meio físico, utilizando modulação e frequência específicas. Após chegada no receptor, o sinal será decodificado e demodulado, de forma que o ouvido humano possa compreender, ou seja, convertido novamente para frequências dentro do canal de voz.

Harry Nyquist e Claude Shannon estudaram como realizar esta amostragem. Nyquist (1928) provou que, se um sinal arbitrário é transmitido através de um canal com uma determinada largura de banda, o sinal poderá ser completamente reconstruído pelo receptor.

Desde que o sinal original seja amostrado, através de uma taxa de amostragem com frequência de no mínimo o dobro da frequência máxima presente no canal. A formulação de Nyquist (1928) considera a banda passante limitada e imune a ruídos. Contudo, podem ocorrer muitas distorções durante a transmissão de um sinal. Diante disto, Shannon (1949) estendeu os resultados de Nyquist (1928) para o caso de um canal sujeito a ruído térmico.

De maneira simplificada, pode-se considerar uma entrada com sinal analógico, que para este exemplo, será a voz humana. Esta voz é transformada em sinal elétrico, através de um transdutor de entrada, como um microfone, por exemplo.

Em seguida, é realizada a amostragem do sinal, onde é convertido um sinal contínuo no tempo em um sinal discreto no tempo. Na sequência, é realizada a quantificação do sinal, convertendo um sinal contínuo em amplitude em um sinal discreto em amplitude. Posteriormente, o sinal será codificado, que é realizar modulação do sinal, podendo ser analógica, como, por exemplo, *Amplitude Modulation* (AM) ou digital, como a *Frequency Modulation* (FM).

Quando o sinal de rádio se propaga no espaço livre, há uma relação entre a potência do sinal recebido e transmitido, dada pela equação 2.1:

$$\left(\frac{P_R}{P_T}\right) = G_t G_r \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2 \quad (2.1)$$

Onde as variáveis G_t e G_r , são os ganhos respectivos das antenas transmissora e receptora, λ é o comprimento de onda utilizado e d é a distância entre as antenas. Esta equação é conhecida como equação de Friis e a partir da relação apresentada, pode-se encontrar o valor da atenuação no espaço livre dada pela equação 2.2, expressa na unidade de relação de potência (dB) (RAPPAPORT, 2002).

$$L_{bf} = 32.4 + 20 \log f + 20 \log d \quad (2.2)$$

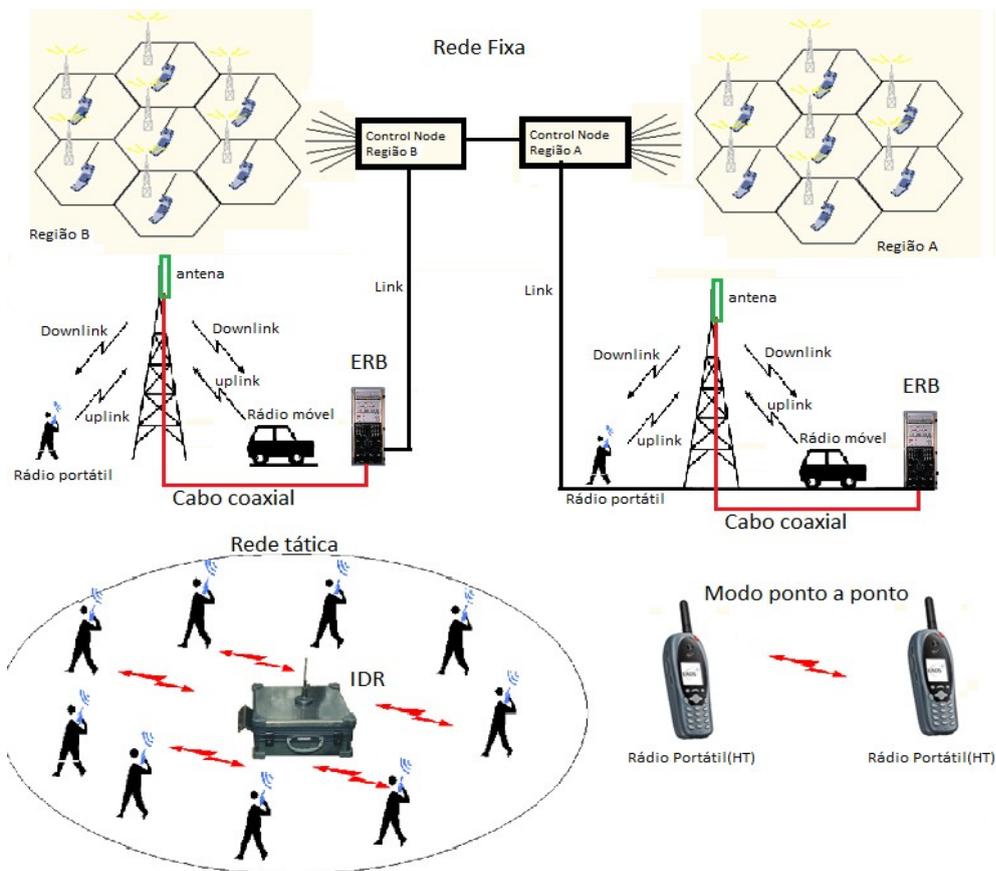
Sendo f a frequência em MHz e d a distância em quilômetros (Km). Contudo, quando uma onda se propaga em um meio, não se pode aplicar a equação de propagação no espaço livre, pois, ocorrem diversos fenômenos que devem ser considerados, como, por exemplo, reflexão e difração, que acarretam mudanças nas características de propagação.

No objeto de estudo, as comunicações são propagadas para o usuário de rádio (*downlink*) e recebidas do usuário (*uplink*) pela *interface* aérea, sendo transmitidas e recebidas por antenas instaladas nas estruturas verticais das Estações Rádio Base (ERBs). Na Figura 3 é ilustrado um sistema típico em *Land Mobile Radio* (LMR), onde 3 modos de operação são possíveis, rede fixa, através de ERBs e Control Node (CN), denominado *Trunking Mode Operation* (TMO); rede tática, através da utilização de repetidoras, denominadas para o sistema TETRAPOL de

Independent Digital Repeater (IDR), podendo ser conectadas ao TMO; e modo ponto a ponto, sem utilização de ERBs ou IDRs, denominado *Direct Mode Operation (DMO)*.

Para a transmissão do sinal da ERB até a antena, devido à frequência de utilização e aplicação, são utilizados cabos coaxiais de diferentes diâmetros. Geralmente nos projetos de rádio engenharia, para frequências próximas a 800MHz, até 60 m de distância, adota-se cabo de 7/8", acima disto até 100 m, geralmente utilizam-se cabos de 1 5/8". Contudo, depende do escopo do projeto, da faixa de frequência e das aplicações. Quanto maior o diâmetro do cabo, menor será a atenuação, maiores diâmetros de cabo também implicam em maiores custos.

Figura 3 – Modos de operação de uma rede LMR.



Fonte: Elaboração própria.

Durante as etapas do projeto, também são considerados diversos fatores como: modelos de propagação utilizados; ferramentas de predição de cobertura; escolha dos pontos para instalação das torres, considerando características de relevo e *clutters* (entendido como tipo de ocupação do solo como região rural, região urbana com quantidade mediana de prédios, região urbana com quantidade densa de prédios, etc.); área que deverá ser coberta pela ERB; padrão utilizado; identificação das principais fontes de interferência; estudo dos métodos de ajuste

através dos conceitos de otimização, como modificações dos parâmetros físicos e sistêmicos; entre outros.

Com relação às perdas na *interface* aérea do sinal recebido pelas antenas, existem difrações ocasionadas por obstáculos e que podem ser calculadas utilizando a integral de Fresnel, considerando o campo incidente, o ângulo de difração e coordenadas do obstáculo (RAPPAPORT, 2002). O valor de atenuação do sinal difratado pela presença de um obstáculo é dado pela equação 2.3.

$$Gd (dB) = 20 \log |F(Vf)| \quad (2.3)$$

Onde $F(Vf)$ é a integral de Fresnel, sem entrar no nível da integral de Fresnel no ambiente analisado, o objetivo é exemplificar que fenômenos físicos como difração afetam o sinal transmitido, podendo obstáculos, como, por exemplo, relevos e construções, provocar atenuações no sinal. Matematicamente tenta-se fazer aproximações com relação às atenuações provocadas pelas difrações de obstruções, devido à complexidade matemática de soluções exatas (PARSONS, 2000).

Quando uma onda de rádio atinge uma superfície, a energia é refletida em várias direções, desta forma, em um determinado ponto espacial, a energia recebida por uma transmissão, conta com contribuições da componente de reflexão direta e com componentes originadas pelo espalhamento, devido ao encontro de obstáculos no percurso de propagação do sinal transmitido (RAPPAPORT, 2002).

Dependendo do tipo de superfície do obstáculo, diferentes efeitos de propagação são induzidos na onda transmitida, por isto, diferentes equações são aplicadas, todas com um grau de complexidade matemática bastante elevada. Isto pois consideram fatores como a área da superfície do obstáculo; o tipo de superfície (se é rugosa, lisa, etc.); perda por espalhamento; campo elétrico refletido; entre outros.

Para facilitar os cálculos necessários para o projeto de uma rede de rádio, são utilizados modelos de propagação, também para viabilizar a modelagem de uma nova rede antes de sua entrada em operação. Segundo Nunes (2017), existem diferentes formas de abordar os problemas de predição de nível do sinal radioelétrico, podendo ser agrupadas as soluções em numéricas e soluções aproximadas.

Estes modelos de soluções aproximadas são utilizados devido às dificuldades de se descrever o comportamento de todos os fenômenos de propagação, que determinam os diferentes componentes de multipercurso no canal. Muitas vezes, é preferível descrever o valor

estatístico provável de certos parâmetros. O modelo COST 231, por exemplo, é baseado em aproximações teóricas e empíricas (DAMOSSO; CORREIA, 1999).

Diversos fenômenos ocorrem durante a propagação do sinal. Além dos descritos acima, existem, por exemplo, o desvanecimento rápido do sinal, que ocorre em razão da interferência entre duas ou mais versões do sinal transmitido que chega ao receptor em tempos diferentes. A atenuação do sinal, que aumenta com o aumento da distância entre estação de transmissão e receptor, além de serem contabilizadas de forma distinta. A atenuação na chuva, por exemplo, será diferente da atenuação atmosférica, como também será diferente da atenuação em ambientes distintos como floresta, edifícios e outros.

De acordo com Damosso e Correia (1999), as propagações de sinais em ambientes urbanos sofrem fortemente o efeito da propagação multipercorso. Para considerar este efeito em um modelo de propagação, é necessário conhecimento de todos os caminhos percorridos pela onda, que dependem primariamente, da altura da antena da ERB, com relação à altura dos prédios ao seu redor.

Os *softwares* de predição de cobertura auxiliam no cálculo destes fenômenos, ajudando consideravelmente o projetista para o desenho da rede de rádio. Estes *softwares* calculam as matrizes de cobertura e interferência, viabilizando fazer predições para ERBs isoladas, conjunto de ERBs e repetidores, devendo-se selecionar a localização da estação (coordenada), altura da antena, modelo da antena, configuração dos setores (*downtilt*, azimute), modelo de propagação e ajustes destes modelos. Os programas de predição de cobertura realizam cálculos de níveis de potência por ponto de resolução, através das expressões desenvolvidas dos modelos de propagação modificados, representando graficamente esses níveis de potência através de mapa.

Esses programas contêm basicamente: base de dados de relevo, que contém o nível médio de terreno, através de aproximação de uma área quadrada, geralmente são digitalizações de serviços de fotometria aérea ou de satélite; base de dados de estações, que indicam os tipos de equipamentos, potências, ganhos e perdas de cabos e divisores, azimutes e inclinações das antenas (*downtilt*); modelos matemáticos das antenas, que são os padrões de irradiação baseados em simulações em laboratórios, representando a distribuição da potência no espaço; base de dados de *clutters*, que informam a tipologia dos obstáculos no terreno interferindo na propagação do sinal, sendo tipos de construções, vegetações, etc.

Através desses programas, associados a bases de dados e modelos de propagação, é possível estimar quantidade de equipamentos necessários para prover a cobertura para uma região. Na fase de otimização, esses programas são importantes no controle de interferências. Uma vez que o programa faz o cálculo dos níveis de potência por transmissor, criam-se camadas

de superposição dessas coberturas, sabendo-se as frequências utilizadas, revelam-se regiões no mapa onde podem acontecer os efeitos de interferências. Geralmente também possuem ferramentas de cálculos de visada e rádio enlace; verificação de perfis de terreno; dimensionamento de tráfego e estatísticas de cobertura; balanceamento entre *downlink* e *uplink*, entre outras funcionalidades.

Deve-se também analisar qual modelo de propagação é melhor adequado para o sistema e quais são os ajustes necessários ao modelo. Podendo-se incluir correções e combinar equações para criar um algoritmo definido pelo usuário. Pode-se criar modelos de propagação ou utilizar existentes, como: COST 231, ITUR-P.1411, ITUR-P.525/526, Okumura, Walfisch-Ikegami, dentre outros. Segundo a *Top Optimized Technologies* (2018), o LTE pode operar em distintas frequências, 800MHz, 1800MHz e 2600 MHz, sendo para 800 MHz, o modelo de Okumura-Hata o mais comumente utilizado. Já para 2.100MHz e 2.600MHz, o COST 231 é o mais usado.

De uma forma geral, as perdas na propagação podem ser representadas através das constantes K1 e K2 ilustradas abaixo. O índice Rkm é o raio de cobertura da célula em quilômetros, e o raio máximo de cobertura da célula pode ser obtido através do cálculo de perda máxima aceitável para obtenção de determinada qualidade de serviço (TOP OPTIMIZED TECHNOLOGIES, 2018).

$$\text{Perdas de propagação (Km)} = K1 + k2 * \log Rkm \quad (2.4)$$

Onde:

$$K2 = 44,9 - 6,55 * \log Hb \quad (2.5)$$

Para o modelo Okumura-Hata, tem-se para K1:

$$K1 = 69,55 + 26,16 * \log F(\text{MHz}) - 13,82 * \log Hb - a(Hm) \quad (2.6)$$

Para COST-231, tem-se para K1:

$$K1 = 46,3 + 33,9 * \log F(\text{MHz}) - 13,82 * \log Hb - a(Hm) \quad (2.7)$$

Onde F (MHz) é a frequência empregada para a transmissão, Hb é a altura da antena em metros, Hm é altura do terminal do usuário em metros, a(Hm) é uma correção em função da altura do usuário, sendo igual a zero se a altura do usuário for menor que 1.5m, para Hm > 1,5m o fator de correção é dado por:

$$a(Hm) = [1,1 * \log F(\text{MHz}) - 0,7] * Hm - [1,56 * \log F(\text{MHz}) - 0,8] \quad (2.8)$$

Se o receptor estiver em uma área suburbana, caracterizada por edificações baixas, a atenuação deve ser corrigida através do fator:

$$\text{perdas corrigidas} = K1 + K2 * \log Rkm - 5,4 - 2 * \left(\frac{\log F(\text{MHz})}{28} \right)^2 \quad (2.9)$$

(RABANOS; TOMAS; SALIS, 2013 apud TOP OPTIMIZED TECHNOLOGIES, 2018).

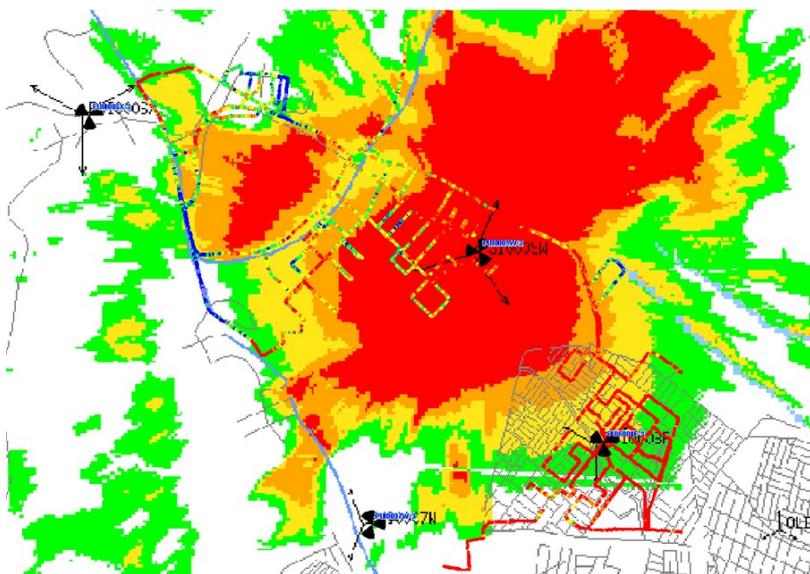
Com relação aos dados de entrada para o *software* de predição, são utilizadas informações de estruturas das edificações, altura das construções, tipos de vegetação e relevo. Para o modelo de propagação ITU-R P.1411-8, por exemplo, a ITU (2015) sugere que, para casos onde não há disponibilidade de informação de alta resolução, sejam utilizadas informações de uso e ocupação do solo com resolução aproximada de 50m.

Na prática, a resolução que será utilizada, depende de um compromisso entre o fator técnico e o fator econômico, pois, quanto maior a resolução da base de dados, maior será a precisão da predição do nível de sinal. Contudo, maior será o custo desta base, considerando o levantamento dos dados, processamento dos computadores onde serão instalados os *softwares* de predição de cobertura, bem como, capacidade de armazenamento.

A otimização, etapa posterior ao projeto e implantação da rede, é um processo contínuo de intervenções e análises para que se tenha a melhor situação de operação. O *drive test* é uma das ferramentas para a análise. Este teste é realizado através da coleta de dados com um veículo em circulação em uma região pré-determinada. Os dados são coletados com georreferenciamento, para que possam ser visualizados em mapa após serem processados.

Pode-se comparar a predição de cobertura da estação, com os valores coletados, sendo as medições coletadas pelo *drive test* as representadas pelas ruas percorridas, conforme Figura 4. Comparando-se os dados do *software* de predição com os dados obtidos no local, através do *drive test*, é possível verificar se o projeto de radioengenharia condiz com a realidade medida, sendo um indicador para a aceitação ou não do projeto contratado. Na Figura 4, pode-se visualizar *drive test*, comparado com a predição de cobertura, para uma ERB com 3 setores.

Figura 4 – Análise de *drive test* em comparação com a predição.



Fonte: elaboração própria a partir de uma situação real de análise.

Geralmente, no momento da contratação de um novo sistema, o cliente indica ao fabricante que regiões deverão ser cobertas, a partir disto, é realizado um estudo de rádio engenharia para determinação da quantidade de ERBs e localização destas. No contrato para aquisição do sistema, devem ser definidos os termos para aceitação e pagamento do projeto, estabelecendo um percentual mínimo de equivalência entre a cobertura apresentada na predição, e a situação real, medida através de *drive test*. Este compromisso entre predição e *drive test* geralmente é estabelecido entre 90% a 95%, contudo, depende do escopo do projeto.

A partir da análise do *drive test*, pode-se fazer estudos para modificação de parâmetros físicos, como ajustes e/ou modificações de cabos, antenas, conectores, entre outros. Como também, viabiliza estudos para ajustes de parâmetros sistêmicos como frequência do canal, estação preferencial, sensibilidade de recepção da estação, entre outros. Também podem ser realizados ajustes nos coeficientes da equação utilizada para o modelo de propagação e correção nos *clutters* da região.

2.5 CUSTOS DO CRIME: COMPREENSÕES NECESSÁRIAS AO EXERCÍCIO DE AT

Com relação aos custos do crime no Brasil e no mundo, o Brasil é sétimo país com a maior taxa de homicídios, inserido na região considerada mais perigosa do globo. O país concentra 14% dos assassinatos, apesar de ter apenas 3% da população mundial. Na América Latina, ocorre quase um terço dos homicídios globais, apesar de a região abrigar apenas 9% da população mundial (KNOEMA, 2018).

O crime custa aos países da América Latina e Caribe (ALC), entre 2,41% e 3,55% de seu Produto Interno Bruto (PIB). Equivalente a um montante entre US\$ 115,3 bilhões e US\$ 171,8 bilhões (à taxa de câmbio de 2014) ou entre US\$ 175,7 bilhões e US\$ 261,2 bilhões (ajustado pela paridade internacional do poder de compra). Estes custos equivalem à renda dos 30% mais pobres desta população, bem como, assemelham-se, ao que esses países gastam em infraestrutura (BID, 2017).

Qualquer política pública, para redução da criminalidade, deve considerar os custos do crime. Para investimentos em tecnologia, deve-se fazer uma análise prévia e, se possível, estimar em quanto determinada tecnologia irá impactar na redução dos custos do crime na sociedade. Desta forma, pretende-se utilizar as tecnologias de forma eficiente, analisando o real impacto, com um fator de previsibilidade, antes da realização dos investimentos.

Um primeiro passo, para utilizar tecnologias no intuito de redução da criminalidade, poderia ser mensurar o impacto desta na população. Verificando em quanto o crime reduz o bem-estar dos cidadãos, para, em seguida, através de políticas públicas planejadas, inclusive, investimentos em tecnologia da informação, buscar uma redução da criminalidade. Não se pode medir diretamente o bem-estar das pessoas, contudo, através de dados disponíveis, é possível obter uma aproximação dos custos de bem-estar impostos pelo crime à população.

É impossível medir o valor efetivo da perda de uma vida, esse cálculo teria implicações morais que são intangíveis, contudo, pode-se mensurar a perda de capacidade produtiva em virtude da redução da força de trabalho.

Quando um indivíduo morre prematuramente, por exemplo, a sociedade perde a produção de valor que ele agregaria no futuro com sua força produtiva. Para cada jovem entre 13 a 25 anos, vítima de homicídio, a perda desta força produtiva representa um valor financeiro de R\$ 550.000,00 para os cofres públicos. Esta perda diminui à medida que a faixa etária aumenta, contudo, ainda continua alta. Se a vítima de homicídio tem 50 anos, por exemplo, o valor financeiro representado pela subtração da força produtiva chega a R\$ 200.000,00 (valores financeiros tomando como referência o ano de 2017) (SECRETARIA DE ASSUNTOS ESTRATÉGICOS DA PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA DO BRASIL, 2018).

O custo da violência no Brasil corresponde a 4,38% do PIB, o equivalente a R\$ 285 bilhões em 2015 (valores financeiros tomando como referência o ano de 2017). A metodologia adotada considerou os seguintes custos: segurança pública (1,35% do PIB), segurança privada (0,94%), seguros e danos materiais (0,8%), custos judiciais (0,58%), perda da capacidade produtiva (0,4%), encarceramento (0,26%), e serviços médicos e terapêuticos (0,05%)

(SECRETARIA DE ASSUNTOS ESTRATÉGICOS DA PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA DO BRASIL, 2018).

Outro estudo conduzido pela Confederação Nacional da Indústria (CNI), estimou em 5,5% do PIB os custos da violência no Brasil, equivalente a R\$ 365 bilhões anuais. A metodologia dividiu os custos em privados (4% do PIB) e públicos (1,5%). Os privados incluem custos intangíveis com homicídios (2,3%) e gastos com segurança privada e seguros (1,7%); os públicos incluem segurança pública (1,3%) e sistema prisional (0,2%) (ABBUD, 2018).

Para entender o significado destes números, é preciso comparar o Brasil com outros países. Contudo, não existe uma metodologia única capaz de incorporar todas as perdas de bem-estar, de forma que, os diversos tipos de metodologias geram diferentes estimativas. Como consequência, as estimativas dos custos sociais do crime variam muito (BID, 2017).

Com o objetivo de fornecer um meio robusto para comparar os custos com a perda de bem-estar, ocasionada pela criminalidade, o BID realizou um estudo para estimar os custos do crime em países da ALC entre 2010 e 2014. Foi desenvolvida uma metodologia para comparar os custos para 17 países da região, contrapondo-os com 6 países desenvolvidos. Essas estimativas fornecem uma visão do impacto do crime e da violência na ALC, devendo ajudar nas melhorias de políticas públicas que podem reduzir estes custos (BID, 2017).

Autores como Becker (1968), Stigler (1970) e Ehrlich (1973), calculam “as perdas agregadas, de bem-estar social, associadas ao crime, como a diferença entre o bem-estar esperado total das potenciais vítimas e criminosos nos cenários “sem crime” versus “com crime” (BID, 2017, p. 02).

Nesse contexto, o problema típico enfrentado por um governo, é como alocar gastos em prevenção e punição do crime, de forma a minimizar a perda social. Já a metodologia contábil, “quantifica os custos incorridos e as perdas experimentadas que não aconteceriam na ausência de crime e, em seguida, usa estes dados para representar as perdas diretas de bem-estar para os cidadãos” (BID, 2017, p. 02).

Outras duas metodologias são a avaliação contingente e os preços hedônicos que fazem uma estimativa dos custos do crime na totalidade. O BID empregou a metodologia contábil de forma sistemática para 17 países da ALC, no período 2010-2014, tendo como foco três tipos de custos: gastos governamentais; despesas domésticas e empresariais; e custos para vítimas e criminosos.

O documento do BID dividiu os custos do crime em três partes, sendo estas: o custo social da criminalidade, incluindo os custos da vitimização, em termos de perda de qualidade de vida, e a renda não gerada pela população prisional, representando 0,64% do PIB na ALC;

despesas privadas em segurança, pelas empresas e famílias na prevenção do crime, que representam 1,37% do PIB na ALC; despesas públicas, que incluem gastos públicos com sistema judiciário, polícia e administração penitenciária, representando 1,51% do PIB na ALC (BID, 2017). O documento também reporta os altos custos de encarceramento na ALC.

Para o período 2010-2014, a região gastou US\$ 6,5 bilhões por ano para manter e construir prisões. Além disso, os indivíduos presos deixam de gerar uma renda equivalente a US\$ 7,3 bilhões por ano. Estas duas cifras somam 0,39% do PIB, que ultrapassa as transferências monetárias condicionais para os pobres da região. O estudo também observa que os países que gastam mais em prisões não necessariamente colhem os benefícios de menos violência. As Bahamas e El Salvador, por exemplo, gastam grandes somas (em termos de PIB) em seus sistemas penitenciários, mas sofrem altos índices de criminalidade. A Argentina e o Uruguai, por outro lado, têm custos de encarceramento muito menores e taxas de criminalidade mais baixas (BID, 2017, p. 04).

Neste estudo, a corrupção, não foi avaliada para quantificar os custos do crime.

Com relação especificamente ao Brasil, o BID publicou em 2017 em livro intitulado - Custos de bem-estar do crime no Brasil um país de contrastes - onde apresenta diversas informações sobre os custos do crime:

Em 2014, a violência custou US\$75.894 milhões para ao Brasil ou 3,14% do PIB, considerando a estimativa média. Esse valor representa 53% do custo total da criminalidade na ALC. O Brasil se destaca por seu alto gasto com segurança privada (48% do custo total do crime). A despesa pública é o segundo maior componente (36% dos custos), enquanto os custos sociais compõem a menor parcela (16% do custo). O custo do crime entre estados e regiões é semelhante, em termos de heterogeneidade, ao observado nos países da ALC. Há estados cujo custo corresponde a cerca de 2% do PIB, enquanto em outros a violência custa cerca de três vezes mais (CAPRIROLO; JAITMAN; MELLO, 2017, p. 01).

Segundo os autores, esta “é a primeira tentativa de se realizar, de forma sistemática, um estudo dos custos da criminalidade no Brasil num contexto internacional e regional, além da avaliação dos custos da criminalidade considerando as heterogeneidades estaduais” (CAPRIROLO; JAITMAN; MELLO, 2017, p. 03). Houve estudos anteriores que procuraram estimar os custos da criminalidade no Brasil, contudo, as estimativas foram realizadas apenas ao nível nacional.

Um estudo tão significativo ter sido realizado apenas em 2017, representa uma mudança de paradigma. Com a necessidade da informação para realização de políticas públicas mais eficientes e respeitando as heterogeneidades das regiões, bem como, os grupos de pessoas mais vulneráveis. Busca-se com isto, métodos capazes de mensurar a violência, em termos da redução do bem-estar do cidadão, em termos possíveis de serem medidos.

Em 2014, o custo médio do crime por estado no Brasil, variava de 2% a 6,2% do PIB, dependendo da região, o estado do Acre era o que apresentava maior custo, seguido pelos estados de Alagoas, Roraima, Tocantins e Maranhão. Com relação às despesas públicas, todas as regiões apresentam um perfil semelhante, sendo os gastos com polícia, responsável por mais de 80% da despesa em segurança pública (CAPRIROLO; JAITMAN; MELLO, 2017).

Em 2014, o Brasil contava com 425.248 policiais, sendo o Distrito Federal (DF), a localidade com a maior concentração, com 501 agentes por 100.000 habitantes e o Maranhão, o estado com a menor taxa, 112 oficiais de polícia por 100.000 habitantes. Fazendo um comparativo com os custos do crime no mesmo período, o DF é a localidade que apresenta o menor custo do crime no Brasil, enquanto o Maranhão é o quinto estado com maior custo do crime (CAPRIROLO; JAITMAN; MELLO, 2017).

Tendo em vista este cenário de criminalidade, os governos federal, estaduais e municipais, têm aumentado os investimentos em segurança pública. Entre 1996 e 2015, houve um aumento nos gastos reais em todos os níveis de governo, de 32 bilhões de reais para 90 bilhões de reais por ano. Contudo, apesar desse aumento de 162% entre 1996 e 2015, o número de homicídios cresceu 49% em números absolutos e 14% por 100 mil habitantes (SECRETARIA DE ASSUNTOS ESTRATÉGICOS DA PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA DO BRASIL, 2018), o que demonstra a aplicação de recursos em ações que não necessariamente foram efetivas.

3 TECNOLOGIA A SER AVALIADA: RADIOCOMUNICAÇÃO DIGITAL PARA SEGURANÇA PÚBLICA

As agências de gerenciamento de emergências incluem agências policiais, corpos de bombeiros, esquadrões de resgate, serviços médicos de emergência e outras entidades, responsáveis pela atuação em situações críticas, denominados como *Emergency First Responders* (EFR), ou seja, os primeiros atuadores em crises. A capacidade dos EFRs de comunicar-se entre si e compartilhar perfeitamente a informação afeta diretamente suas capacidades de salvar vidas e controlar situações de risco (KUMBHAR; GÜVENÇ, 2015).

O *Land Mobile Radio System* (LMRS) é uma tecnologia que tem sido usada para cenários de comunicação de segurança pública e defesa. Foi concebida como uma tecnologia de banda estreita para voz, com uso limitado para aplicações de dados. Na atualidade, os três padrões de radiocomunicação digital em LMRS, são: APCO-25, TETRA e TETRAPOL. Com a evolução das tecnologias de banda larga para CC, através da possibilidade de altas taxas de transmissão de dados com o uso do LTE, espera-se que as capacidades tecnológicas em CC sejam transformadas, alterando, inclusive, a forma de atuação das agências ligadas a *Public Safety*, como, por exemplo, na investigação policial.

O padrão TETRAPOL de rádio digital troncalizado surgiu na França, pela parceria formada entre a guarda nacional francesa e a empresa Matra Comunicações. Por sistemas troncalizados entende-se como aqueles onde os usuários compartilham todos os canais disponíveis, portanto, ao tentar efetuar uma comunicação, o sistema automaticamente encaminha o usuário para o canal de rádio que estiver livre na ERB, não sendo necessário que o assinante mude o canal de comunicação. O TETRAPOL adota tecnologia de Acesso Múltiplo por Divisão de Frequências (FDMA) e técnica de modulação por chaveamento mínimo com filtro gaussiano (GMSK), podendo ser empregado na faixa de frequências entre 70 a 900 MHz.

De acordo com Ludolf (2011), no *Tetrapol Forum* (2018) são disponibilizadas as especificações de Avaliação Pública (PAS) para TETRAPOL, escritas segundo as normas do *European Telecommunication Standards Institute* (ETSI), contudo, alguns fabricantes afirmam que as especificações técnicas descritas nas PAS não são suficientes para a fabricação de equipamentos neste padrão. Portanto, algumas empresas acreditam que este padrão deve ser considerado como fechado. É utilizado no Brasil, como, por exemplo, pela Polícia Federal (PF) e Secretaria de Defesa Social (SDS) do Ceará.

O padrão TETRA nasceu a partir da necessidade de se estabelecer um padrão aberto de rádio digital troncalizado. Em 1997 foi registrado na ETSI, sendo também disponibilizadas suas

especificações para domínio público, portanto, trata-se de uma tecnologia de *Public Access Mobile Radio* (PAMR), ou seja, padrão aberto.

O TETRA adota tecnologia de Acesso Múltiplo por Divisão de Tempo (TDMA) e técnica de Modulação *Differential Quadrature PhaseShift Keying* ($\pi/4$ DQPSK), podendo ser empregado na faixa de frequências compreendidas entre 380 a 900 MHz. É utilizado no Brasil, como, por exemplo, pela Polícia Rodoviária Federal (PRF) e SDS do DF.

O padrão APCO-25 de rádio digital troncalizado, também conhecido como Projeto 25, é um padrão aberto baseado nas pesquisas da *Telecommunications Industries Association* (TIA) para radiocomunicações digitais. Teve como origem o APCO 16, onde a *Associated PublicSafety Communications Officers* (APCO), juntamente com empresas de telecomunicações, criaram um projeto denominado Projeto 16, com algumas especificações como largura de canal em 12.5KHz e modulação de voz analógica.

Os primeiros equipamentos comercializados, foram desenvolvidos pela empresa Motorola, por isto, é comum encontrar o termo padrão fechado para o APCO 16. A modulação de voz era analógica e fazia-se necessária a evolução para a era digital, a partir desta necessidade, iniciou-se o Projeto 25, tendo como um dos resultados a publicação do documento BSR/TIA 102.AAC/2001, que traz a documentação técnica deste padrão, viabilizando que outras empresas, além da Motorola, desenvolvessem equipamentos.

Pode ser de dois tipos, com acesso múltiplo por divisão de frequência (FDMA), para especificações de fase 1, com canal de voz de 12,5 KHz, como também, com especificações denominadas fase 2, com acesso múltiplo por divisão de tempo (TDMA), que permite maior eficiência espectral com 1 canal de voz em 6,25 kHz, o que equivale à estrutura do canal TETRA de 4 *slots* de 25 KHz (DOUMI et al., 2013). Pode ser empregado na faixa de frequências compreendidas entre 130MHz a 900 MHz e é utilizado no Brasil, como, por exemplo, pelas SDSs de Pernambuco e São Paulo.

No Brasil, cada um dos órgãos de segurança de atuação nacional, bem como, as SDSs dos estados, investem em redes próprias, o que implica em multiplicidade de investimentos e maior dificuldade na integração. Além das diversas redes estaduais, cada um dos órgãos federais possui suas redes. A PF possui uma rede na tecnologia TETRAPOL, a PRF possui rede TETRA, e o Exército possui rede na tecnologia APCO 25.

A infraestrutura para CC encontrada na maioria dos estados do Brasil é com agências possuindo redes próprias, com gestão e operação próprias, interligadas ou não a um Centro Integrado de Comando e Controle Regional (CICCR) do estado. Importante ressaltar que alguns estados brasileiros não possuem CICCR.

Em alguns estados, como, por exemplo, Minas Gerais (MG) e Rio de Janeiro (RJ), o CICCRR possui centrais de despacho de rádio em operação, para a maior parte das agências ligadas a atividades de *Public Safety*, além de outras agências, como, companhias de energia, abastecimento de água, entre outras. Além disto, no Rio de Janeiro, algumas agências realizaram a integração de voz entre suas redes de rádio, para utilização, caso necessário, em alguma situação crítica que exija uma atuação conjunta, contudo, é uma integração apenas de voz e não interoperabilidade entre as redes, com compartilhamento de recursos.

Contudo, esta integração não ocorre na maioria dos estados brasileiros, ou seja, em uma crise que demande atuação conjunta entre as forças de segurança, não existem protocolos de atuação que possibilitem uma comunicação de voz integrada, rápida e eficiente. Como também, não existem protocolos para o compartilhamento de recursos, como, por exemplo, bases de dados de veículos roubados ou de pessoas com mandados de prisão.

Tanto o TETRA quanto o APCO 25, buscaram o desenvolvimento das tecnologias para uma maior largura de banda, fornecendo taxas de velocidade próximas a 80Kb/s em um canal de 50 KHz de largura. O TETRA *release 2*, ou TETRA *Enhanced Data Services* (TEDS), foi desenvolvido para ser compatível com TETRA, fornecendo voz e dados. Já o APCO 25, deveria utilizar a modulação adaptativa seletiva (SAM), como tecnologia suplementar para serviços de dados. Contudo, faltou espectro de frequência disponível para a implantação do TEDS nos EUA, enquanto a implantação do SAM encontrou obstáculos com as mudanças regulatórias através da canalização do espectro público de 700 MHz, e adoção de LTE nos EUA. Além disso, a *TETRA Critical Communications Association* (TCCA) indicou o LTE como a tecnologia de banda larga para CC (DOUMI et al., 2013).

De acordo com a TCCA (2015), nos últimos anos, as organizações de desenvolvimento de padrões como a *3rd Generation Partnership Project* (3GPP) e ETSI vêm trabalhando para melhorar os padrões do LTE para uso em CC. Muito desse trabalho foi auxiliado por projetos de segurança pública, como, por exemplo, *FirstNet* nos EUA e o *UK Home Office Emergency Services* (ESMCP) no Reino Unido.

O LTE é ainda um tipo de protocolo não absolutamente padronizado que prioriza tráfego de dados ao invés de voz, viabilizando serviços como vídeo e transmissão de imagens em alta resolução e em tempo real.

3.1 LTE E LTE-ADVANCED APLICADOS EM REDES DE COMUNICAÇÃO CRÍTICA

As redes LMR são atualmente utilizadas nas CCs para *Public Safety*, atendendo bem às demandas das forças com relação às comunicações de voz, através de baixa latência e funcionalidades como, comunicação ponto a ponto, gerenciamento de grupos, entre outras.

Apesar do bom atendimento às comunicações de voz em missão crítica, sistemas LMR possuem capacidades limitadas de transmissão de dados, além dos altos custos relacionados à falta de economia de escala dos equipamentos e acessórios do sistema. As taxas disponíveis são insuficientes para aplicações de dados em banda larga. Por isto, é comum que as agências de segurança utilizem serviços de banda larga a partir de contratos de serviços com redes comerciais, destinadas a atender a população em geral (GSMA, 2018).

No Brasil, as agências possuem suas próprias estruturas de rede LMR, e a construção e manutenção para cada agência é complexa, além de apresentar altos custos. Desta forma, uma rede única LTE pode oferecer vantagens como, por exemplo, melhor cobertura, devido ao investimento conjunto em apenas uma rede, além de remover problemas de interoperabilidade entre as agências com diferentes sistemas. Além disto, a rede LTE também utiliza *User Equipaments* (UEs), como *smartphones*, e eNodeBs (estação rádio base do LTE), que também atendem a redes comerciais, diminuindo, desta forma, os custos dos equipamentos, devido à escala global de produção (GSMA, 2018).

O LTE foi projetado para prover altas taxas de dados a partir de conectividade IP, com baixa latência, podendo ser utilizado por aplicativos com comunicação IP, permitindo que grandes números de serviços sejam fornecidos, como, por exemplo, consulta a banco de dados, *streaming* de vídeo e comunicação de voz (PTT e VoIP) em tempo real. Provendo entre duas e quinze mil vezes mais capacidade de dados que as atuais redes LMR (3GPP, 2018).

Atualmente o espectro alocado para aplicações de segurança pública no Brasil é de 5MHz de *upload* e 5MHz de *download*, o que possibilita disponibilizar 110Mbps em uma ERB com três setores de 36,7Mbps, permitindo diversas aplicações, bem como, comunicação *full duplex*, além da *half duplex* oferecida atualmente pelas redes LMR (3GPP, 2018).

O LTE pode ser utilizado com aplicações personalizadas para usuários de segurança pública, através de soluções baseadas em IP *Multimedia Subsystem* (IMS), como, *Push-to-Talk* (PTT) sobre telefonia celular. Podem ser implementados serviços de segurança melhorados e capazes de realizar transmissões ponto-multi-ponto de voz, vídeo e dados em comunicação PTT.

A rede LTE pode ser integrada as atuais redes LMR, viabilizando a convergência de tecnologias, e a convivência de serviços existentes e serviços emergentes intensivos em dados sobre uma mesma infraestrutura, possibilitando, desta forma, uma transição suave para o LTE (FERRÚS et al., 2013).

Também já se pode utilizar uma rede LTE de forma tática, com possibilidade de prover temporariamente cobertura em uma determinada região que necessite de comunicação crítica, este foi o caso utilizado no resgate das crianças que ficaram presas em uma caverna na Tailândia em 2018, através de uma rede tática LTE da Huawei (IPNEWS, 2018).

Alguns recursos importantes para segurança pública podem ser integrados em uma rede LTE, como, por exemplo: drones, *analitic* de vídeos; viaturas autônomas e automação de alguns dispositivos policiais; robôs conectados para atividades de risco, como desativação de explosivos; *video intelligence*, com aplicações de inteligência artificial e integração de imagens geradas por diversos dispositivos, como câmeras fixas, câmeras instaladas nos uniformes dos agentes (*bodycam*); entre outros (FREIRE; JORGE; CÂNDIDO, 2019).

Os padrões criados pela 3GPP, designaram 4 diferentes classes de banda em 700 MHz, as classes 12, 13, 14 e 17, distribuídas conforme Quadro 1 (KUMBHAR; GÜVENÇ, 2015).

Quadro 1 – Alocação de espectro em 700MHz, classes 12, 13, 14 e 17 (3GPP).

Band class	Spectrum block	Uplink (MHz)	Downlink (MHz)	Band gap (MHz)
12	Lower block A Lower block B Lower block C	698 - 716	728 - 746	12
13	Upper C block	777 - 787	746 - 756	21
14	Upper B Block Public safety allocation	788 - 798	758 - 768	20
17	Lower B block Lower C block	704 - 716	736 - 746	18

Fonte: Extraído de Kumbhar & Güvenç (2015).

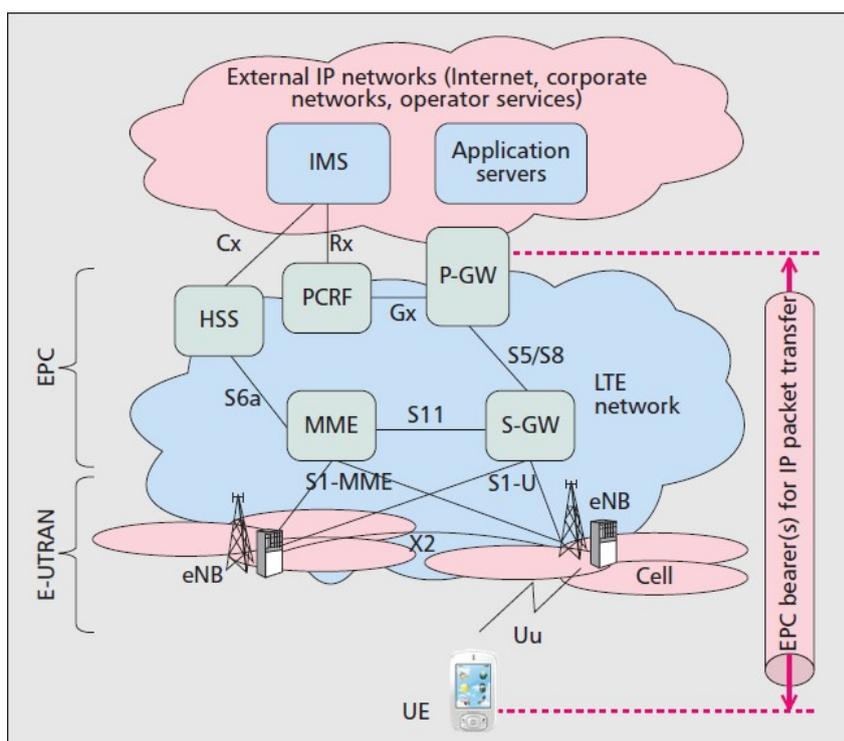
De uma forma geral, uma rede LTE consiste em 2 partes principais: a rede de acesso via rádio, conhecida como rede de acesso a rádio terrestre UMTS evoluída, do inglês, *Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network* (E-UTRAN); e o *Evolved Packet Core* (EPC).

A E-UTRAN é a principal responsável pelas funções de transmissão de rádio, enquanto as funções de gerenciamento de mobilidade são realizadas pelo EPC. A E-UTRAN consiste em ERBs denominadas NodeBs evoluídos (eNBs), responsáveis pelos protocolos de rádio. O EPC compreende o *Mobility Management Entity* (MME), responsável pelas funções de controle, como, por exemplo, gerenciamento de localização (FERRÚS et al., 2013).

Existe também um *gateway*, denominado *Serving Gateway* (S-GW), que ancora o tráfego de usuários de/para o E-UTRAN no EPC, e um *gateway* denominado *PDN Gateway* (P-GW), que provê a conectividade IP para redes IPs externas. O funcionamento do EPC é assistido pelo *Home Subscriber Server* (HSS), que é um banco de dados que contém, entre outras coisas, informações relacionadas aos usuários (FERRÚS et al., 2013).

A conectividade IP do LTE é realizada através do estabelecimento do *Evolved Packet System* (EPS), exibido na Figura 5, entre o equipamento do usuário, UE, e o P-GW, através do controle da qualidade de serviço (QoS). Plataformas de controle de serviço baseadas em IP, como, por exemplo, o subsistema de multimídia IP (IMS), pode ser usado adicionalmente para o serviço de conectividade LTE com suporte a QoS para multimídia. Já o sistema *Policy and Charging Control* (PCC), fornece aos operadores ferramentas avançadas para QoS e controle (FERRÚS et al., 2013). Na Figura 5 pode-se visualizar a arquitetura básica de uma rede LTE.

Figura 5 – Arquitetura básica de uma rede LTE.



Fonte: Extraído de Ferrus et al. (2013).

A portadora de frequência é especificada pelo *Absolute Radio-Frequency Channel Number* (ARFCN). Já o Earfcn é um par de códigos designado para a transmissão e recepção da portadora, ou seja, um Earfcn para o *uplink* e um para o *downlink*. O Earfcn também reflete a frequência central da portadora e está dentro do intervalo de 0 a 65535 (KUMBHAR; GÜVENÇ, 2015; 3GPP, 2018).

Um dos principais objetivos para o desenvolvimento do LTE foi alcançar elevadas taxas de eficiência espectral (5 bits/s/Hz no *downlink* e 2,5 bits/s/Hz no *uplink*), com flexibilidade de atribuição de frequências. Para alcançar estas taxas, no *downlink* se emprega acesso múltiplo por divisão de frequência ortogonal, *Orthogonal Frequency-Division Multiplexing Access* (OFDMA); já para o *uplink*, se emprega o *Single Carrier Frequency-Division Multiplexing Access* (SC-FDMA), que se assemelha ao OFDMA, mas tem uma menor potência de pico, o que garante uma melhor vida útil da bateria do aparelho móvel (TOP OPTIMIZED TECHNOLOGIES, 2018).

Em sistemas LMR, as ERBs utilizam diferentes frequências, denominadas canais, que possuem largura de banda espectral padrão de 12,5 KHz, com separação usual entre os canais de 250KHz ou superior. Os grupos de conversação são atribuídos aos canais durante a transmissão.

Com relação à duração do canal para cada grupo de conversação, geralmente configura-se na rede para que o acionamento do botão PTT, por parte do usuário, não dure mais que 30 segundos, derrubando a conexão forçadamente para tempos de pressionamento superiores, evitando, desta forma, mal-uso do canal de voz. De acordo com Kumbhar e Güvenç (2015) o tempo normal de utilização do canal varia entre 2 a 5 segundos.

Para dados, o canal também utiliza a largura de 12,5KHz, por isto, estes sistemas são chamados de banda estreita. Com relação ao canal de controle, um canal fica dedicado e sempre transmitindo, onde a principal tarefa é alocar recursos e a troca de mensagens de controle entre o subsistema de rádio frequência e os UEs.

Sistemas LMR utilizam diferentes frequências nas estações, minimizando, desta forma, a interferência intercelular, o reuso das frequências é realizado com estudos prévios, através do *software* de predição de cobertura e *drive test*, visando reduzir possíveis interferências.

O LTE possui reuso de frequência igual a 1, ou seja, todas as células utilizam toda a largura de banda disponível para a transmissão, e a interferência intracelular, que é a interferência causada entre os setores de uma mesma estação, é evitada devido à utilização do OFDMA.

Já a interferência intercelular, que é aquela produzida entre células vizinhas ou que possuam áreas de cobertura que se encontram em algum ponto, são evitadas através do uso de estratégias de coordenação de interferências, *Inter-Cell Interference Coordination* (ICIC). A interferência também é uma função da carga do usuário a cada instante, por isto, a margem de interferência varia diretamente com a carga da estação.

Basit (2009) realizou uma simulação utilizando um cenário de rede com 19 estações de 3 setores, totalizando 57 células. As estações foram posicionadas em uma grade hexagonal regular, distantes 1.732 metros uma das outras. A perda de penetração considerada foi de 20dB e o UE com classe de potência de 21 dBm.

A coordenação de interferência não foi usada nesta simulação. Um dos resultados obtidos, foi a tabela abaixo, que demonstra os dados obtidos da margem de interferência com relação à carga da rede.

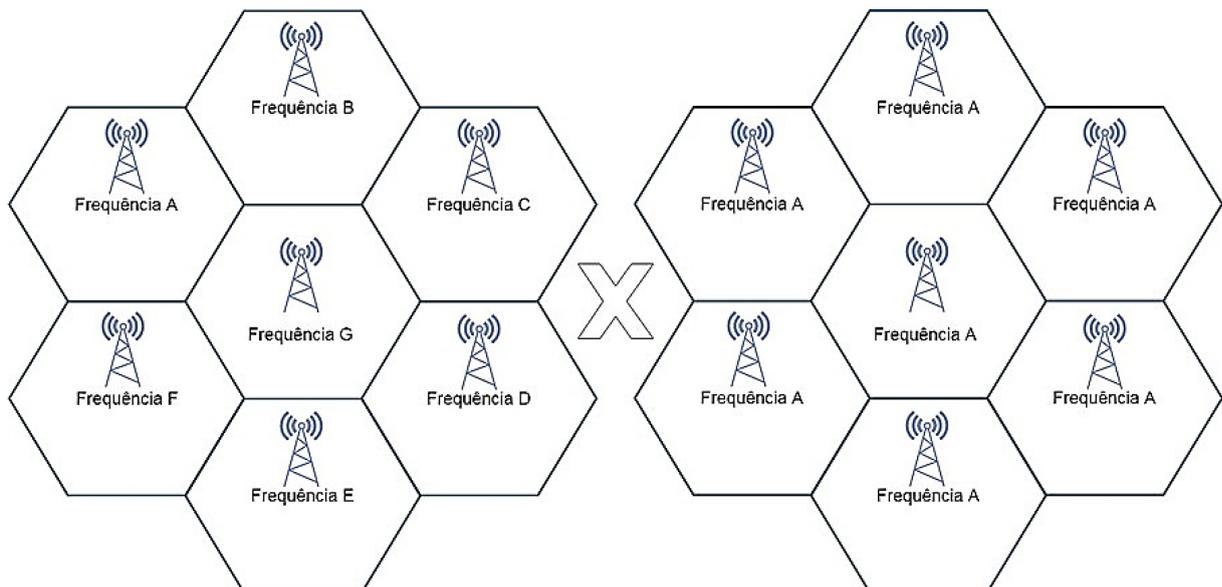
Tabela 1 – Carga da célula LTE versus margem de interferência.

Carga(%)	Margem de interferência (dB)
35	1
40	1.3
50	1.8
60	2.4
70	2.9
80	3.3
90	3.7
100	4.2

Fonte: Elaboração própria, adaptado de Basit (2009).

Na Figura 6 pode-se observar a diferença entre um sistema que utiliza frequências distintas nas estações, com reuso destas frequências em uma mesma região, e um sistema que utiliza a mesma frequência para todas as estações, ou seja, reuso de frequência igual a 1, visando utilizar toda a largura de banda disponível.

Figura 6 – Sistema com reuso de frequência =7 versus LTE com reuso =1.



Fonte: Elaboração própria.

No LTE, o canal é dividido em quadros e sub-quadros. Os quadros possuem 10 milissegundos (ms), compostos por sub-quadros de 1 ms. Dentro destes sub-quadros existem *slots* de 0,5 ms, cada *slot* sendo composto por 7 símbolos OFDM.

A transmissão de *uplink* e *downlink* é programada por blocos de recursos (BR), com cada BR em intervalos de tempo de 0,5 ms ou 180 KHz e composto por 12 subportadoras de 15KHz. Em uma largura de banda disponível para transmissão LTE, 10% é utilizada para sinalização, e os outros 90% são utilizados efetivamente para dados, ou seja, para BRs (KUMBHAR; GÜVENÇ, 2015).

Desta forma, os blocos que serão transportados com dados são denominados blocos de transporte, e o tamanho deste bloco é dado em função da largura de banda e número de BRs, conforme tabela 7.1.7.2.1-1 da documentação 3GPP (2019), referente ao *release* 14.

Como exemplo, considerando uma largura de banda disponível de 10MHz, 90% desta largura de banda é utilizada efetivamente para dados, desta forma são 9MHz. Cada bloco de recurso contém 12 sub-portadoras de 15KHz cada, totalizando uma largura de 180KHz para cada bloco de recurso, $9.000.000 / 180.000 = 50$, portanto, 50 blocos de recurso podem ser utilizados para uma largura de banda de 10MHz.

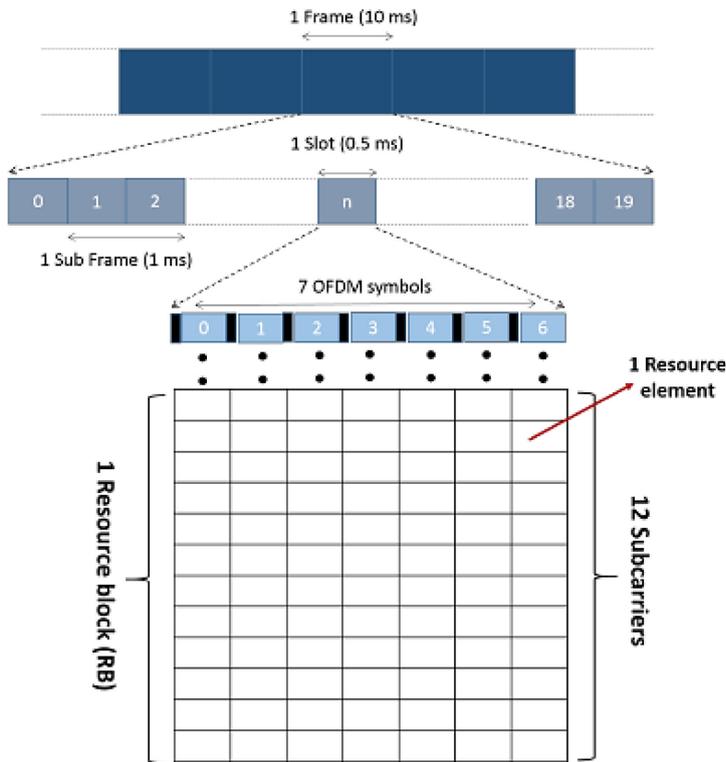
O tamanho dos blocos de transporte é o que determina a velocidade de dados para um usuário LTE. De acordo com a tabela 7.1.7.2.1-1 em 3GPP (2019), o tamanho máximo do bloco de transporte, considerando um índice máximo de bloco (*Itbs*) inferior a 27, para 50 blocos de recurso (*Nprb*), é de 36.696 bits, conforme parte da tabela 7.1.7.2.1-1 3GPP (2019), ilustrada na Tabela 2. Como cada bloco de 36.696 bits se transmite em 1 ms, por isto, a velocidade máxima alcançada por usuário em 1 segundo (s) é de cerca de 36,7 Mbps. Este exemplo considera apenas uma camada de transmissão, sem a utilização da técnica de múltiplas antenas.

Tabela 2 – Parte da tabela 7.1.7.2.1-1 de 3GPP (2019), tamanhos do bloco de transporte.

I tbs	N prb							
	43	44	45	46	47	48	49	50
20	19848	20616	21384	21384	22152	22152	22920	22920
21	21384	22152	22920	22920	23688	24496	24496	25456
22	22920	23688	24496	24496	25456	25456	26416	27376
23	24496	25456	25456	26416	27376	27376	28336	28336
24	26416	26416	27376	28336	28336	29296	29296	30576
25	27376	28336	28336	29296	29296	30576	31704	31704
26	31704	32856	32856	34008	35160	35160	36696	36696

Fonte: Elaboração própria, adaptado da tabela 7.1.7.2.1-1 de 3GPP (2019).

Figura 7 – Distribuição de quadros, sub-quadros e blocos de recurso no *downlink*.



Fonte: Extraído de Kumbhar & Güvenç (2015).

O BR é composto por um *slot* no domínio do tempo e 12 sub-portadoras no domínio da frequência. A menor unidade definida é um elemento de recurso, que consiste em uma subportadora OFDM. Cada UE, pode ser programado em um ou mais BRs.

A utilização do OFDMA no *downlink* possibilita alcançar altas velocidades de transmissão de dados. A banda larga de transmissão se divide em um grande número de sub-portadoras ortogonais entre si, moduladas com largura de banda de 15KHz cada. A ortogonalidade entre as sub-portadoras é eliminada com a presença da dispersão temporal, por isto, é utilizado um prefixo cíclico, visando manter esta ortogonalidade e com isto, garantir que as sub-portadoras sejam transmitidas sem a produção de interferências entre elas.

O indicador habitual para expressar a cobertura em 4G é o *Reference Signal Received Power* (RSRP). Esta potência se define por portadora, por isto, está relacionada a potência média na recepção através da equação 3.1, que considera o número de blocos de recurso (Nrb), na largura de banda disponível e o número de portadoras por bloco, que para o LTE são 12, denominadas sub-portadoras (TOP OPTIMIZED TECHNOLOGIES, 2018).

$$RSRP(dBm) = PotenciaRx(dBm) - 10 * \log(12Nrb) \quad (3.1)$$

Cada subportadora transmite usuários distintos e o esquema de alocação pode ser feito tanto no domínio do tempo quanto no domínio da frequência, dependendo das melhores

condições do canal naquele momento. A informação do estado do canal é obtida através um informe enviado do móvel para o eNodeB. Este informe é realizado através do indicador *Channel Quality Indicator (CQI)*, que determina qual esquema de modulação e codificação adaptativas devem ser empregadas para alcançar as melhores condições para o enlace, mantendo a potência do transmissor constante (TOP OPTIMIZED TECHNOLOGIES, 2018).

De acordo com a 3GPP (2019), o LTE utiliza a definição do CQI para analisar o estado do canal, esta informação é enviada pelo móvel no *uplink*, e serve como parâmetro para definição da modulação e codificação que serão utilizados no canal, de acordo com a qualidade do sinal recebido. Existem 15 valores de CQI possíveis, cada um destes, associados a uma modulação e formato de transmissão específico. Quanto maior o CQI, mais eficiente será a modulação e maior a taxa de dados.

No LTE a qualidade do sinal é aferida através dos indicadores *Reference Signal Received Power (RSRP)*, que é o valor médio do sinal recebido por portadora LTE, calculado com relação aos sinais de referência, conforme equação 3.1; *Reference Signal Received Quality (RSRQ)*, que é o valor médio do sinal recebido em relação à banda medida; *Received Signal Strength Indicator (RSSI)*, que é uma medição de potência recebida da banda, considerando interferência e ruído.

Para cada valor de CQI relatado no *subframe* do *uplink*, o móvel deve utilizar o maior índice possível de CQI, entre 1 e 15 da Tabela 7.2.3-1 ou Tabela 7.2.3-2, do relatório de especificação técnica de camada física para o LTE, disponível em 3GPP (2019), que satisfaça determinada condição de um único bloco de transporte do *Physical Downlink Shared Channel (PDSCH)*, com uma combinação de esquema de modulação e tamanho de bloco de transporte correspondente ao índice CQI, e ocupando um grupo de blocos de recursos físicos de *downlink*, denominado recurso de referência CSI, que possa ser recebido com uma probabilidade de erro não superior a 0,1 (TOP OPTIMIZED TECHNOLOGIES, 2018).

Em 3GPP (2019) a tabela 7.2.3-1 relata o CQI com base nas modulações QPSK, 16QAM e 64QAM. Já os índices CQI e suas interpretações são fornecidos na tabela 7.2.3-2 para relatar o CQI com base em QPSK, 16QAM, 64QAM e 256QAM. Os índices do CQI e suas interpretações são fornecidos na Tabela 7.2.3-3 para relatar o CQI com base no QPSK e no 16QAM.

A relação sinal ruído, *Signal to Interference plus Noise Ratio (SINR)*, medida no receptor móvel, é o que determina a qualidade do sinal e a velocidade alcançada. O valor SINR determina o esquema máximo de modulação e codificação utilizável na transmissão que possibilite que a probabilidade de erro do bloco de transporte, BLER, não seja ultrapassado.

A 3GPP adotou uma metodologia baseada no cálculo de eficiência espectral, obtida a partir de ajustes na fórmula de Shannon, que determina a capacidade máxima teórica de um canal SISO (entrada única, saída única) medida em eficiência espectral em função do SINR. Desta forma, pode-se calcular o SINR necessário, de acordo com a eficiência espectral (bps/Hz), que no que lhe concerne, está relacionada à velocidade do usuário por largura de banda disponível (3RD GENERATION PARTNERSHIP PROJECT (3GPP), 2018; TOP OPTIMIZED TECHNOLOGIES, 2018).

Apenas como exemplificação, aplicando a metodologia utilizada pela 3GPP, para a banda de 800 MHz, com largura de banda de 10 MHz, seriam necessários 3bps/Hz de eficiência espectral para obter 30 Mbps, tendo o SINR o valor de 12dB. Deve-se ressaltar que uma eficiência de 3 bps/Hz requer um formato de modulação 16QAM e alta taxa de codificação, *Modulation and Coding Schemes* (MCS), pois, quanto maior o MCS utilizado, maior o SINR requerido e vice-versa, por isto, usar uma modulação QPSK $\frac{1}{2}$ terá um SINR menor exigido do que 16-QAM $\frac{1}{2}$, tendo que o UE suportar essa modulação, de acordo com sua categoria (TOP OPTIMIZED TECHNOLOGIES, 2018; 3GPP, 2019; 3GPP, 2018; BASIT, 2009).

Desta forma, verifica-se que para o LTE, são realizadas diversas medições relacionadas ao nível de sinal e qualidade do serviço, visando definir parâmetros que otimizem a transmissão dos pacotes de dados.

3.2 TÉCNICA MULTIANTENA - MIMO

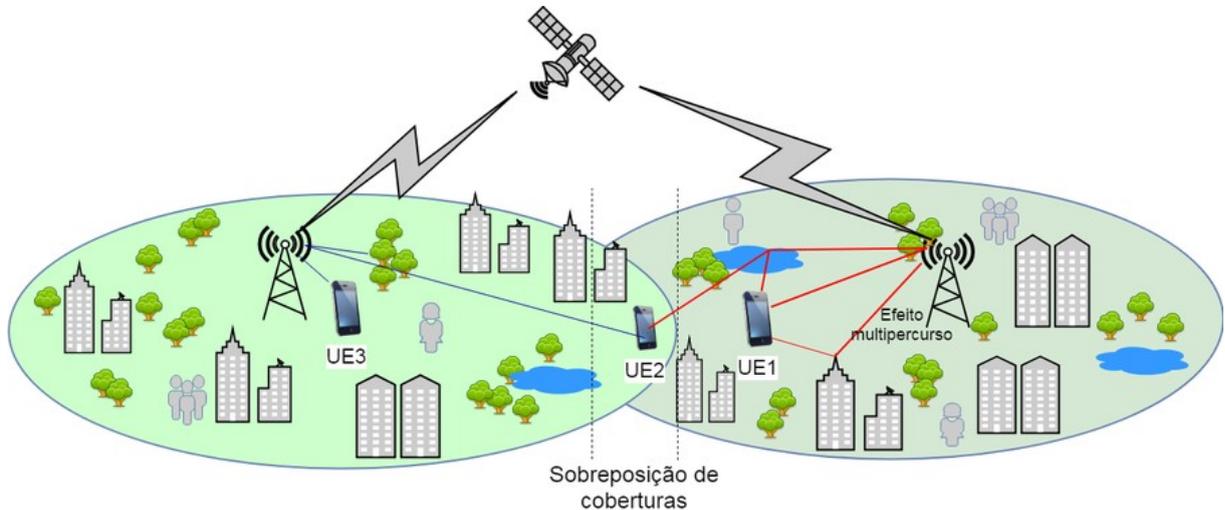
A técnica de múltiplas antenas, *Multiple Input Multiple Output* (MIMO), é utilizada no LTE no intuito de acrescentar uma dimensão espacial de transmissão, devido ao multipercurso no espaço aéreo originado por múltiplas antenas. Desta forma, pode-se estabelecer vários canais paralelos entre o eNodeB e o móvel, obtendo um aumento na taxa de dados, sem a necessidade de aumentar a largura de banda disponível.

No *downlink* aumenta-se a taxa de dados devido ao efeito multipercurso de propagação da onda eletromagnética, através de várias antenas transmitindo, criando-se, desta forma, canais paralelos. A informação transmitida alcança a antena de recepção em ângulos diferentes, permitindo, por exemplo, que as antenas combinem fluxos de dados que chegam de diferentes caminhos e momentos.

No caso do *uplink*, o efeito multipercurso é mitigado justamente pela existência de múltiplas antenas e combinação dos sinais de forma construtiva, ou escolha do melhor sinal.

Na Figura 8 é ilustrado o efeito do multipercurso da propagação, e a interferência causada devido à sobreposição de cobertura.

Figura 8 – Representação do efeito multipercurso e interferência intercelular.



Fonte: Elaboração própria.

Pode-se utilizar distintas técnicas de multiantenas, a técnica de multiplexação espacial aproveita os trajetos multipercurso, estabelecendo, desta forma, canais paralelos para obtenção de uma maior taxa de dados, sem aumento da largura de banda disponível. Contudo, para que esta técnica tenha êxito, é necessário que o canal possua muitos trajetos multipercurso, com boa qualidade de sinal em relação ao ruído.

A técnica de diversidade espacial melhora a relação sinal/ruído, sendo o número de antenas de diversidade proporcional a esta melhoria, através de uma compensação no desvanecimento do sinal propagado, devido as múltiplas transmissões e possíveis combinações construtivas deste sinal e, até mesmo, a escolha do melhor sinal.

Outra técnica utilizada é a *beamforming*, que utiliza transmissões direcionais para melhorar largura de banda das conexões e aumentar o seu alcance, sendo inclusive parte do padrão 802.11ac de redes de Internet Wi-Fi. É um direcionamento de sinal emitido pelo transmissor para o alvo, se o aparelho receptor também suportar *beamforming*, pode trocar informações com o transmissor sobre sua posição para determinar o melhor caminho. Os benefícios são devidos ao ganho de diretividade de sinal, em relação a uma antena omnidirecional, como também, à redução de interferência em outras estações, em virtude do sinal propagado ser confinado para uma determinada região alvo.

Para o caso de regiões rurais, devido ao *clutter* da região ser predominantemente áreas abertas e sem tantas obstruções de edificações, características de regiões urbanas, não ocorrem

tantos multipercursos no sinal transmitido, por isto, a técnica de multiplexação espacial não é tão eficiente, sendo mais adequada a técnica de diversidade espacial.

Segundo *Top Optimized Technologies* (2018), a melhoria na relação sinal/ruído devido à estação possuir um número ‘n’ de antenas é descrita na equação 3.2, com G representando o ganho em decibéis (dB). Desta forma, um esquema de antenas 2×2, n=2, logo, um ganho de 3dB, que representa o dobro da potência em Watts (W). Ou seja, um sinal de 10W passa a ser 20W, conforme demonstrado na equação 3.3. Já para um esquema de antenas 4×4, n=4, logo G (dB) = 6dB.

$$G(\text{dB}) = 10 * \log(n) \quad (3.2)$$

$$\text{Sinal}(\text{dBm}) = 10 * \log(\text{Sinal}(\text{miliwatts})); 40\text{dBm} = 10 * \log(10.000) \quad (3.3)$$

$$\text{Logo: } 40\text{dBm} + 3\text{dB} = 43\text{dBm}; 43/10 = \log^{-1}(\text{Sinal}(\text{miliwatts})) = 20\text{Watts}$$

Com relação à busca do eNodeB pelo móvel, é o procedimento pelo qual um dispositivo adquire sincronização de tempo e frequência com uma célula, detectando a identificação da estação através da camada física do enlace de rádio. Os sinais de sincronização primários e secundários são transmitidos no *downlink* para facilitar a pesquisa da célula por parte dos UEs.

3.3 CATEGORIAS DE EQUIPAMENTOS DO USUÁRIO

As especificações da 3GPP (2018) definem as categorias dos UEs, correspondendo a um conjunto de funcionalidades suportadas pelos UEs. Ao registrar-se na rede, o UE informa ao eNodeB qual a sua categoria, para que assim a rede seja notificada e utilize as funcionalidades possíveis, como, por exemplo, número de blocos de transporte que podem ser recebidos em um intervalo de tempo, no *downlink* e *uplink*; máxima modulação suportada, por exemplo, 16QAM ou 64QAM; transmissões simultâneas suportadas; entre outras.

As categorias de UE logo se expandiram, viabilizando maiores taxas de dados. Para o *release* 8, por exemplo, a 3GPP (2018) especificava 5 tipos de categorias com taxa máxima de pico de 300Mbit/s para o *downlink* e 75,4Mbit/s para o *uplink*. Já para os *releases* 10 e 11, correspondentes à evolução do LTE, denominado LTE *Advanced* (LTE-A), haviam 10 categorias, a categoria 10, por exemplo, do *release* 11, suportava uma taxa de pico para *downlink* de 452,2Mbit/s e 102,0Mbit/s para *uplink*.

Contudo, estas taxas dependerão da disponibilidade e configuração da rede, como, por exemplo, largura de banda disponível e MIMO utilizado. Uma largura de banda de 10MHz com esquema de antenas 2x2, terá uma velocidade máxima de *downlink* de 73Mbps, já se utilizar o

esquema 4x4, esta taxa aumenta para 147Mbps. Considerando o esquema do *uplink* 1x2, a taxa máxima de *uplink* para esta mesma largura de banda seria de 36Mbps (TOP OPTIMIZED TECHNOLOGIES, 2018).

3.4 LTE-ADVANCED

O *release* 10 para o LTE da (3GPP, 2018), lançado em 2011, foi uma evolução do LTE, por isto denominado LTE-Advanced (LTE-A). Através de novas funcionalidades, foi possível obter melhorias nas taxas de transmissão de dados, dentre estas melhorias, destacam-se: a técnica MIMO, viabilizada para uma configuração de antenas 8x8; a utilização de uma técnica para redução de interferências, visando controlar o efeito da interferência co-canal ou inter-células, por meio do reuso fracionário da banda, denominada *Inter-cell Interference Coordination* (ICIC), também chamada de reuso fracionário de frequência, *Fractional Frequency Reuse* (FCC), por dividir a célula em regiões, diferenciando a banda de cada uma delas para reduzir a interferência (NÓBREGA; RÊGO; SOUSA JR., 2018).

Outras técnicas importantes, de acordo com *Top Optimized Technologies* (2018), foram a possibilidade de agregar portadoras, possibilitando que um usuário receba várias frequências simultaneamente, com isto, é possível utilizar uma largura de banda maior, de até 100MHz, através de 5 portadoras de 20MHz cada.

Como também, a introdução da coordenação da transmissão e recepção multiponto na rede, *Coordinated Multipoint Transmission/Reception* (CoMP), para facilitar as comunicações cooperativas através de múltiplas transmissões e recepções, com vários pontos sendo coordenados uns com os outros, para que não ocorram sérias interferências nos sinais de transmissão, podendo esta múltipla transmissão ser explorada de forma construtiva.

3.5 MODOS DE OPERAÇÃO TDD E FDD

Com relação às técnicas de múltiplos acessos de usuários simultâneos, o LTE pode operar tanto com duplexação por divisão de frequência, *Frequency Division Duplex* (FDD), quanto por divisão de tempo, *Time Division Duplex* (TDD). A duplexação consiste em transmitir e receber ao mesmo tempo, como, por exemplo, falar e ouvir simultaneamente. Para o caso do FDD, o *uplink* e *downlink* ocorrem em frequências distintas, podendo, portanto, serem transmitidos simultaneamente. Enquanto no TDD, o *downlink* e *uplink* utilizam a mesma

frequência, portanto, não podem ser transmitidos simultaneamente, sendo necessária separação temporal. A técnica utilizada irá influenciar na taxa de dados.

3.6 COMPARAÇÕES ENTRE LTE E LMR

No Quadro 2 são apresentadas algumas comparações entre LTE e LMR.

Quadro 2 – Comparações entre sistemas LTE e LMR.

Parâmetros	LMR	LTE
Aplicações	Limitadas devido à baixa disponibilidade de taxa de dados. Serviço disponíveis: voz, dados, serviços de localização e mensagem de texto.	Aplicativos com altas taxas de dados, como FTP, multimídia, serviços de localização, mensagem de texto, voz e dados em tempo real.
Taxa de dados	O APCO-25 tem uma taxa de dados fixa de 4,4 Kbits/s para comunicações de voz e de 9,6 a 96 Kbits/s para sistemas somente de dados.	Depende de vários fatores, como a relação de sinal por interferência e ruído (SINR); alocação de largura de banda; modulação; código de correção de erros; número de equipamentos de usuário, do inglês, <i>User Equipment</i> (UE), conectados ao eNodeB. De acordo com as especificações 3GPP, o LTE <i>Advanced</i> fornece um aumento na taxa de dados de pico de <i>downlink</i> de 3 Gbits e 1,5 Gbits/s no <i>uplink</i> .
Relação de sinal por interferência e ruído (SINR)	O <i>Delivered Audio Quality</i> (DAQ) representa a qualidade do sinal para rádios digitais. A escala DAQ varia de 1 a 5, sendo 1 ininteligível e 5 perfeito. Rádios para segurança pública utilizam DAQ de 3.4, o que corresponde a comunicação de voz compreensível e com raras necessidades de repetição, equivalente a SINR de 17,7 dB.	Não depende da carga da célula, mas depende de fatores como o <i>Channel Quality Indicator</i> (CQI), transmitido pelo equipamento do usuário e que possibilita ao eNodeB escolher entre os esquemas de modulação QPSK, 16QAM e 64QAM, e uma ampla gama de taxas de código. Um SINR superior a 20 dB denota uma qualidade de sinal excelente (o UE está mais próximo do eNodeB), enquanto o SINR menor que 0 dB indica uma baixa qualidade de link (geralmente quando o UE está localizado na borda da célula).
Tipo de modulação	Esquema de modulação fixa com 2 bits por símbolo.	Com base no <i>feedback</i> do CQI, o eNodeB pode selecionar entre o esquema de modulação QPSK, 16QAM e 64QAM, onde um esquema de modulação mais alto precisa de um valor SINR mais alto.
Correção de erro, do inglês, <i>Forward Error Correction</i> (FEC)	A taxa FEC é fixada de acordo com o DAQ 3.4.	A taxa FEC é variável e depende dos valores SINR. Códigos de taxa mais altos podem ser usados quando o SINR é alto.
Configuração das antenas	Utiliza <i>Single Input Single Output</i> (SISO), ou seja, entrada e saída únicas, com utilização de antena omnidirecional ou antenas setorizadas, através de divisão do sinal de saída única e junção do sinal de entrada única, através do uso de divisores de potência (<i>splitters</i>).	Utiliza o <i>Multiple Input Multiple Output</i> (MIMO), ou seja, entradas e saídas múltiplas. A transmissão dos sinais pode ocorrer de variadas formas, como dividido em feixes isolados, onde cada feixe é enviado por uma das antenas; com o sinal sendo enviado na íntegra por mais de uma antena para diferentes receptores; através da junção de dois ou mais transmissores que enviarão o sinal em conjunto. O MIMO tem sido parte integrante do LTE com o objetivo de melhorar o rendimento de dados e a eficiência espectral. O LTE- <i>Advanced</i> introduziu o MIMO 8x8 no <i>downlink</i> e 4x4 no <i>uplink</i> .
Potência de transmissão	O rádio móvel ou portátil, transmite na potência variando entre 1 a 10 Watts, dependendo do sistema e do modelo de rádio. Já as ERBs e repetidoras, possuem potências de saída variando	A potência de transmissão do UE pode ser controlada dentro do intervalo definido de -40 dBm a +23 dBm (correspondendo à potência máxima de transmissão de potência de 0,2 Watts).

	entre 5 a 15Watts, para utilizações nas faixas de frequência em 300MHz e 400MHz, e variando entre 100 a 125Watts, para utilizações nas faixas de 700 e 800MHz.	De acordo com o <i>release 9</i> da 3GPP, a potência máxima de transmissão é de 46 dBm para a micro estação base, e de 24 dBm para a estação base (potência de pico).
--	--	---

Fonte: Elaboração própria, adaptado de Kumbhar & Güvenç (2015).

A radioengenharia segue os mesmos conceitos, as variações são devidas as frequências adotadas serem diferentes, mas os princípios físicos são os mesmos, inclusive com possibilidade de utilização da mesma ferramenta de predição de cobertura, podendo haver mudança do modelo de propagação adotado. Contudo, a base teórica é a mesma, sendo esta base definida por meio dos princípios das ondas eletromagnéticas propagadas por diferentes meios.

3.7 INTEROPERABILIDADE ENTRE REDES LTE E LMR

A introdução do LTE para CC destina-se a complementar os serviços atualmente oferecidos pelas redes de radiocomunicação em banda estreita, não substituir o legado existente, pois o LMR continuará sendo padrão para serviços de voz de missão crítica, pelo menos, nos próximos 10 anos (FERRÚS et al., 2013). Por isto, justifica-se a importância da interoperabilidade entre as redes.

Neste sentido, nos EUA, o congresso exigiu que o desenvolvimento de requisitos de interoperabilidade fosse o primeiro passo para a criação da rede LTE para CC. Desta forma, um grupo de trabalho composto por membros da indústria, provedores de serviços e organizações de segurança e defesa, todos nomeados pela *Federal Communications Comissão* (FCC), estudou aspectos críticos de interoperabilidade como, *interfaces* de rede, segurança, aplicações, dispositivos, *handovers*, *roaming*, *design* e priorização de serviços (DOUMI et al., 2013).

De acordo com Ferrús et al. (2013), a coexistência das redes legado LMR com as redes LTE para missão crítica, possuem vários desafios técnicos a serem superados, e como pontos principais para viabilizar esta coexistência, os autores pontuam: que o acesso da rede para segurança pública e defesa ocorra também através das redes comerciais, de forma segura e interoperável; que seja assegurado capacidade da rede para CC, alocando os recursos de forma adequada, de acordo com políticas de priorização previamente estabelecidas.

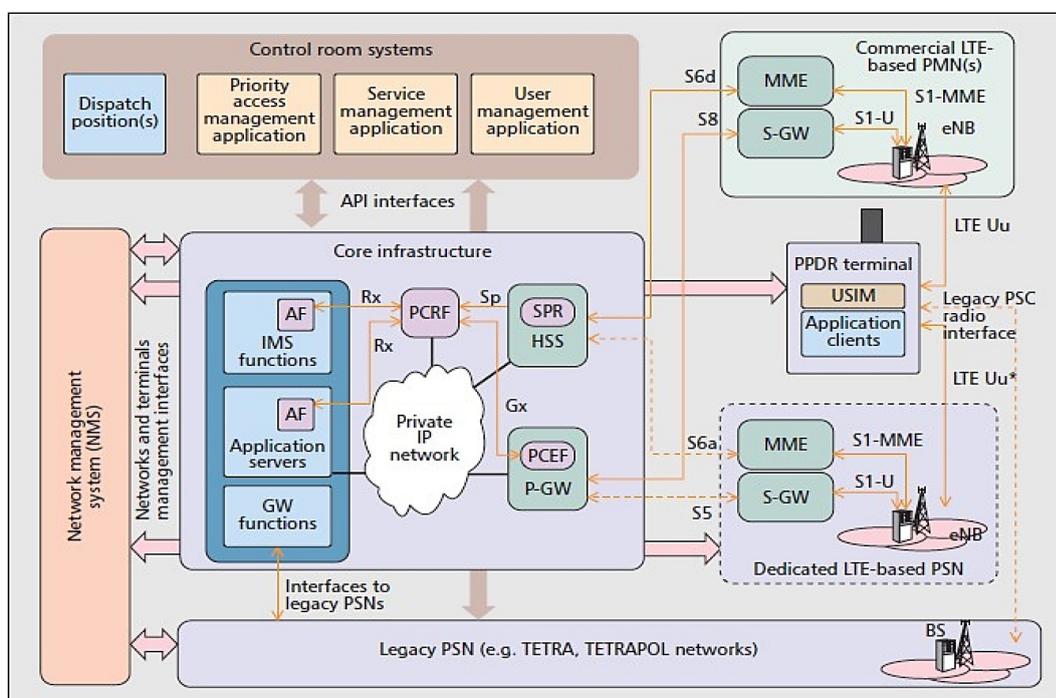
A interoperabilidade das redes LTE com as redes legado dos órgãos públicos é um dos pré-requisitos para a implantação da rede em banda larga para CC. A infraestrutura básica desta solução, descrita na Figura 9, consiste em funções baseadas em IP *Multimedia Subsystem* (IMS), servidores de aplicação, e um determinado conjunto de componentes de rede, de acordo com especificações da 3GPP, ou seja, *Home Subscriber Server* (HSS), *Policy and Charging*

Rules Function (PCRF) e PDN Gateway (P-GW), todos interconectados através de uma rede IP privada.

Através desta infraestrutura, os serviços são fornecidos para os órgãos de *Public Safety*, ou seja, a rede *Public Protection and Disaster Relief* (PPDR), para os usuários equipados com UEs da PPDR habilitados para LTE, através de redes de segurança pública, *Public Safety Networks* (PSN) dedicadas, e/ou redes comerciais, *Public Mobile Networks* (PMNs). Estas redes sendo interconectadas através de *interfaces* padronizadas pela 3GPP, como, por exemplo, S5/S8, para transferência de dados e S6a/S6d, para sinalização (OLSSON et al., 2009 apud FERRÚS et al., 2013).

Esta infraestrutura também é interconectada com a *interface* de programação de aplicativos, *Application Programming Interfaces* (APIs), para sistemas de salas de controle, *Control Rooms Systems* (CRSs), utilizados para gerenciamento. Os CRSs podem incluir aplicativos de central de despacho, bem como, aplicações de controle e monitoramento dos grupos de comunicação e usuários. O funcionamento desta infraestrutura com as redes dedicadas PSNs, são gerenciados por um operador da PSN, através de um sistema de gestão de rede, *Network Management System* (NMS) (FERRÚS et al., 2013).

Figura 9 – LTE e serviços de interoperabilidade entre PSNs e PMNs.



Fonte: Extraído de Ferrús et al. (2013).

O acesso à rede LTE é controlado através da gestão da informação de inscrição, chaves de segurança e perfis de serviço de usuário, administrado através do módulo de identidade

universal do assinante, *Universal Subscriber Module Identity* (USIM), do lado do terminal, e pelo banco de dados central do HSS, por parte da rede. Manter o controle sobre estas inscrições de usuários em uma rede PPDR é essencial, pois, permite aos gerentes da rede terem controle sobre os usuários, como, por exemplo, ativação ou remoção de um usuário de um grupo de comunicação, modificação do perfil de serviço disponível para um determinado usuário, modificação da prioridade de acesso, entre outros (FERRÚS et al., 2013).

Portanto, conforme descrito na Figura 9, a solução considera que os usuários da PPDR implementarão seus próprios HSS como parte de suas infraestruturas, controlando seus próprios SIM *CARDs*. Esta é uma solução lógica para países que adotarão sistemas dedicados LTE para PSNs. As redes dedicadas terão seus identificadores de rede, *Public Land Mobile Network Identifiers* (PLMN IDs), com os usuários da PPDR, ou uma agência do governo, ou até mesmo uma empresa privada prestadora de serviços, serviriam como operadora de rede móvel, *Mobile Network Operators* (MNOs).

Se não existirem na região PSNs dedicadas, pode-se utilizar a solução de uma operadora de rede virtual, *Mobile Virtual Network Operator* (MVNO). Desta forma, o MVNO tem o seu próprio PLMN ID, contudo, depende exclusivamente da capacidade da rede fornecida pelos MNOs comerciais, sendo necessário que acordos de *roaming* sejam estabelecidos entre os usuários PPDR e as operadoras (FERRÚS et al., 2013).

A solução proposta por Ferrús et al. (2013) também considera que o gerenciamento central, *core*, da PPDR possua um P-GW dedicado para que serviços IP possam ser gerenciados de forma autônoma, como, por exemplo, alocação de endereço IP privado. Essa abordagem também facilita a mobilidade entre PSNs e PMNs. Para esta solução, a segurança de ponta a ponta pode ser melhorada com a implementação de soluções personalizadas para PPDR, através de rede virtual privada, *Virtual Private Network* (VPN), entre os terminais móveis e a rede.

Soluções de rede PPDR dedicada LTE, integrada a redes LTE comerciais e às redes legados em banda estreita dos órgãos de segurança, vem sendo adotadas nos EUA e Reino Unido. Já a solução de utilização de MVNO vem sendo adotada no México, através da utilização da *Red Compartida*, conforme descrito na seção seguinte.

3.8 REDES LTE PARA COMUNICAÇÕES CRÍTICAS EM PAÍSES DE REFERÊNCIA

A tendência de modernização das redes de CC de largura de banda estreita para banda larga, LTE, já se fazia presente em 2012, quando a TCCA e a *National Public Safety*

Telecommunications Council (NPSTC) assinaram um memorando de acordo, manifestando a necessidade do desenvolvimento de comunicações de missão crítica em LTE.

Em 2013 os EUA já haviam alocado uma largura de banda de 20 MHz na faixa de 700MHz, para a implantação de uma rede nacional de CC em banda larga, ação esta que não teria sido possível sem a atuação conjunta das agências reguladoras, legisladores, fabricantes e as organizações ligadas a segurança pública e defesa. Um dos objetivos deste esforço, era viabilizar o desenvolvimento das redes de CC para uma capacidade similar a das redes comerciais, além de alcançar a interoperabilidade das comunicações entre as agências, tendo como um dos resultados finais, a redução dos gastos operacionais (DOUMI et al., 2013).

No Canadá, as agências de segurança pública em 2013 buscavam a harmonização do espectro de frequência para um uso potencial do LTE para CC. No Reino Unido, a *Emergency Services Network* (ESN) está evoluindo para uma nova rede, com maior capacidade e flexibilidade do que o sistema de rádio móvel utilizado atualmente pelos 3 serviços de emergência na Inglaterra, Escócia e País de Gales.

Esta nova rede vem sendo desenvolvida dentro de um programa denominado *Emergency Services Mobile Communications Programma* (ESMCP), que além dos 3 órgãos de emergência que atualmente utilizam a rede, contará com mais 300 outras organizações que farão a transição para a nova rede, capaz de entregar comunicação de voz de missão crítica e serviços para dados em banda larga (ESMCP, 2018).

Em outros países, tentativas de liberar bandas de espectro, alavancar serviços comerciais ou reutilizar ativos de espectro existentes, estão sendo consideradas para disponibilização de banda de frequência para CC em banda larga. Muitos países já estão em fase de implantação e testes da rede; outros, já estão operando em algumas regiões como piloto.

Enquanto no Brasil, a ANATEL alocou 10 MHz na banda 28 para esta destinação, sendo a faixa de *uplink* de 703 a 708 MHz e *downlink* 758 a 763 MHz. Ainda se discute a possibilidade de alocação de mais 10MHz, totalizando 20MHz para CC, conforme utilizado nos EUA. Discute-se também como se dará a governança desta rede única em banda larga para CC, quem será o gestor, como se dará a implantação, operação e manutenção, qual fundo será utilizado para custear a rede, como será a participação dos órgãos, entre outros.

Portanto, enquanto outros países já estão em fase de implantação, testes, e até mesmo operação das redes de CC em LTE, no Brasil ainda se discute bandas de frequências que serão alocadas e quem será o responsável pelo projeto, implantação, operação, gestão e manutenção.

Portanto, para o estudo do LTE aplicado a CC, faz-se necessário analisar outros países que já venham implantando este sistema, de preferência, com formas de implantação diferentes, possibilitando que esta pesquisa possua dados mais abrangentes, com diferentes cenários.

Após a realização da revisão bibliográfica, e por meio de contato direto com fabricantes, fornecedores, especialistas e outras polícias no mundo, alguns dados foram levantados com relação à implementação do LTE para CC. E nestes termos, três locais foram escolhidos como referência para este estudo, sendo estes: EUA, Reino Unido e México.

No caso dos EUA e do Reino Unido, devido à fase adiantada da implantação da rede e por, segundo a 3GPP (2018), estes países apresentarem importantes contribuições para a padronização do LTE para CC. E o México, devido às similaridades econômicas e territoriais com o Brasil; o sistema operado pela PF mexicana ser o TETRAPOL, o mesmo da PF brasileira; e devido à forma que esta rede vêm sendo implantada, através de um sistema híbrido e operadores virtuais, MVNOs.

3.8.1 Projeto *FirstNet* nos EUA

Diversos estudos apontam a necessidade de criação de um novo sistema nacional de CC, baseado em padrões abertos, com arquitetura consistente, construído a partir de recursos públicos captados para a transição para um novo sistema nacional, baseado em banda larga e não mais em banda estreita, como os atuais sistemas em LMR.

Nos EUA, o desenvolvimento desta rede nacional é traduzido no projeto da *FirstNet*, alocada na classe 14 da banda do espectro de frequências.

A *FirstNet* destina-se a ser uma rede em banda larga que permitirá altas taxas de dados, atualmente não suportadas pelas redes LMR. Estes serviços de banda larga trarão alterações sem precedentes às agências de segurança, através dos benefícios de custos mais baixos, devido às economias de escala e rápida evolução das capacidades de transmissão de voz e dados.

A rede irá oferecer alta velocidade dedicada para agências de gerenciamento de emergências, provendo serviços já ofertados pelas atuais redes LMR, como, por exemplo, chamadas em grupos de comunicação e chamadas diretas; aparelhos com botão *push-to-talk*; identificação dos usuários; chamada de emergência; comunicação ponto a ponto (DMO); ativação de estações remotas com ou sem interligação com a rede *trunking*; baixa latência na comunicação; além de uma comunicação *full duplex* com qualidade de áudio.

A *FirstNet* define a rede LTE em camadas distintas, sendo estas: *Core Network* (CN), que é a parte central da rede; *transport backhaul*, que compreende CN intermediário e sub-

redes; *Radio Access Network* (RAN), que é parte do sistema destinado a viabilizar o acesso dos dispositivos de usuário (*public safety devices*) ao CN; *public safety devices*, que podem ser *smartphones*, *laptops*, *tablets* ou qualquer equipamento LTE destinado ao usuário (KUMBHAR; GÜVENÇ, 2015).

Nos EUA, uma banda de largura de 20 MHz na faixa de frequência de 700 MHz, é dedicada para as agências de *Public Safety*, variando de 758 MHz a 768 MHz e 788 MHz a 798 MHz. Com alocação de banda estreita de 769 MHz a 775 MHz e 799 MHz a 805 MHz, destinada para comunicação de voz.

Existe ainda uma banda de guarda de 1 MHz, alocada entre as bandas larga e estreita, para evitar interferências. Parte do espectro de banda estreita de 700 MHz, também está disponível para comunicações interoperáveis em âmbito nacional, permitindo que agências se comuniquem, caso necessário. Abaixo pode-se visualizar a distribuição das frequências e alocação do Earfcn (KUMBHAR; GÜVENÇ, 2015).

Quadro 3 – Parâmetros da classe de banda 14.

	Downlink (MHz)			Uplink (MHz)		
	Low	Middle	High	Low	Middle	High
Frequency	758	763	768	788	793	798
Earfcn	5280	5330	5379	23280	23330	23379

Fonte: Extraído de Kumbhar; Güvenç (2015).

A rede de CC dos EUA será uma mistura de LMR, *FirstNet* e redes comerciais. Os sistemas LMR oferecem capacidade em banda estreita de voz para missão crítica, com taxas de dados restritas, no entanto, com ampla área de cobertura, através de ERBs e repetidoras em muitos casos, com alta potência de transmissão, além de possibilidade de comunicação ponto a ponto.

Já a *FirstNet* disponibiliza alta velocidade, fornecendo para os órgãos, por exemplo, atualizações em tempo real da situação no teatro de operações. Ou seja, utilização dos sistemas LMR para voz em missão crítica, e da *FirstNet* para dados em alta velocidade (KUMBHAR; GÜVENÇ, 2015).

Com relação ao comportamento das redes comerciais em uma emergência, estas redes utilizam tecnologias baseadas em IP, como 2G, 3G, 4G, 5G e Wi-Fi, podendo ser benéficas para fornecer serviços de CC, contudo, são vulneráveis a congestionamento, devido à maior intensidade de chamadas no local de incidentes, realizadas tanto pelos agentes dos órgãos, quanto pelas vítimas e qualquer do povo. Estas redes também necessitariam de cobertura e dimensionamento adequados para suportar serviços de CC entre as agências.

3.8.2 Projeto ESMCP no Reino Unido

No Reino Unido, segundo a ESMCP (2018), a ESN fornecerá uma cobertura geográfica ampla na Grã-Bretanha ao longo das principais rodovias e estradas secundárias; áreas rurais; locais estratégicos, como, por exemplo, túneis rodoviários e ferroviários, incluindo o Metrô de Londres e Glasgow; 12 milhas (19,31 km) de oceano, cobrindo águas territoriais britânicas e comunicações ar terra, *Air to Ground* (A2G) na Inglaterra, Escócia e País de Gales. A previsão de entrega da rede é no final de 2019.

Para viabilizar o ESMCP, uma equipe dedicada trabalha em colaboração com os governos da Inglaterra, Escócia e País de Gales, e com os serviços de emergência destes países. O programa vem sendo desenvolvido em parceria com empresas privadas, sendo estas, a maior operadora 4G da Grã-Bretanha, a EE, que está construindo a nova infraestrutura; a Motorola, que está fornecendo os serviços do usuário; e um parceiro de entrega, a *Kellog Brown Root* (KBR) (ESMCP, 2018).

Os contratos com a Motorola e a EE foram assinados em 2015 e atualmente a rede se encontra em fase de implantação e testes, já tendo sido construído mais da metade das infraestruturas de rede necessárias; prioridades dos usuários advindos da ESN já demonstrada pela EE. Além disto, a Motorola testou a função PTT, e também foi demonstrado a navegação na *internet* a partir de um dispositivo utilizando cartão SIM através da rede ESN. Também foi assinado contrato com a Samsung para fornecer *smartphones* para ESN, com entrega dos primeiros 1.500 aparelhos robustecidos na primavera de 2018, permitindo, desta forma, a realização de mais testes na rede (ESMCP, 2018).

Devido à dimensão e importância estratégica desta rede, a ESMCP (2018) deixa claro em suas documentações que não correrão riscos com a segurança pública, portanto, a nova ESN será exaustivamente testada com os serviços de emergência, antes de entrar em operação. Propondo testes abrangentes, pois, de acordo com a documentação deste programa: “a escala e a complexidade da realização de testes operacionais nacionais, de ponta a ponta, exigem uma abordagem credível, definitiva e baseada em evidências, permanecendo ágeis na resposta à mudança”.

Desta forma, a equipe da ESN trabalha de forma abrangente, em colaboração com usuários e fornecedores para projetar e executar um plano confiável para testes da nova ESN, de forma que os 3 serviços de emergência que atualmente utilizam a rede LMR, tenham as informações e a confiança necessária para a Tomada de Decisão, quanto ao momento de migração para a rede em banda larga.

Os ensaios têm foco na tecnologia e na infraestrutura nacional. Já os testes piloto, possuem foco na integração das redes e em como esta transição afeta os usuários, as centrais de despacho e as atividades das agências (ESMCP, 2018).

Alguns destes testes bem-sucedidos já realizados no âmbito da ESMCP são descritos a seguir: testes de integração com a rede Motorola LTE para CC, denominada *Public Safety Communication Services* (PSCS), sobre a rede da operadora EE, demonstrando o funcionamento do PTT nos dispositivos para realização de chamadas em grupo e chamadas de emergência; localização dos dispositivos móveis; escuta ambiental; notificações enviadas para o móvel, incluindo notificação para informação da perda de cobertura da rede; e junção de grupos de comunicação (ESMCP, 2018).

Assim como, testes de integração realizados com sucesso com: *4G Voice Over Long-Term Evolution* (VoLT), para chamadas telefônicas através das operadoras; *4G Short Message SMS* (mensagem de texto); *4G Multi-media message* (MMS); e acesso direto à *internet* através de um dispositivo conectado à rede (ESMCP, 2018).

3.8.3 Projeto *Red Compartida* no México

Os dados desta seção foram obtidos através de visita técnica ao México, realizada pela autora, em viagem oficial a Querétaro, Morelos e Cidade do México, no período de 16/09/2018 a 22/09/2018, para acompanhar a PoC, além de verificar outras soluções em LTE.

As secretarias de segurança pública de Querétaro e Morelos, através de seus representantes, apresentaram dados e proporcionaram visita aos CICCs destes locais. A Airbus também apresentou seus equipamentos nestas cidades, como também, ao *data center* localizado na Cidade do México, além de realizar testes através da rede híbrida, para demonstrar o funcionamento da rede. A Huawei viabilizou a visita ao seu *OpenLab* na Cidade do México, que é um ambiente de cooperação visando fornecer estrutura para incubação e verificação conjuntas de dispositivos LTE, e teve um papel importante na construção da rede eLTE-IoT para a rede elétrica mexicana, através de medidores inteligentes AMI.

A ideia para implantação da solução da Huawei para a companhia de energia, era solucionar problemas como a difícil e lenta cobrança de tarifas e a alta perda de linhas de transmissão. A solução busca fornecer às empresas de energia elétrica uma plataforma de medição inteligente, baseada na comunicação bidirecional de alta velocidade, permitindo fazer cobranças em tempo real. O sistema de gestão de usuários evita o roubo de eletricidade, analisa as estatísticas de perda de linhas de transmissão e agiliza as operações. O sistema utiliza como

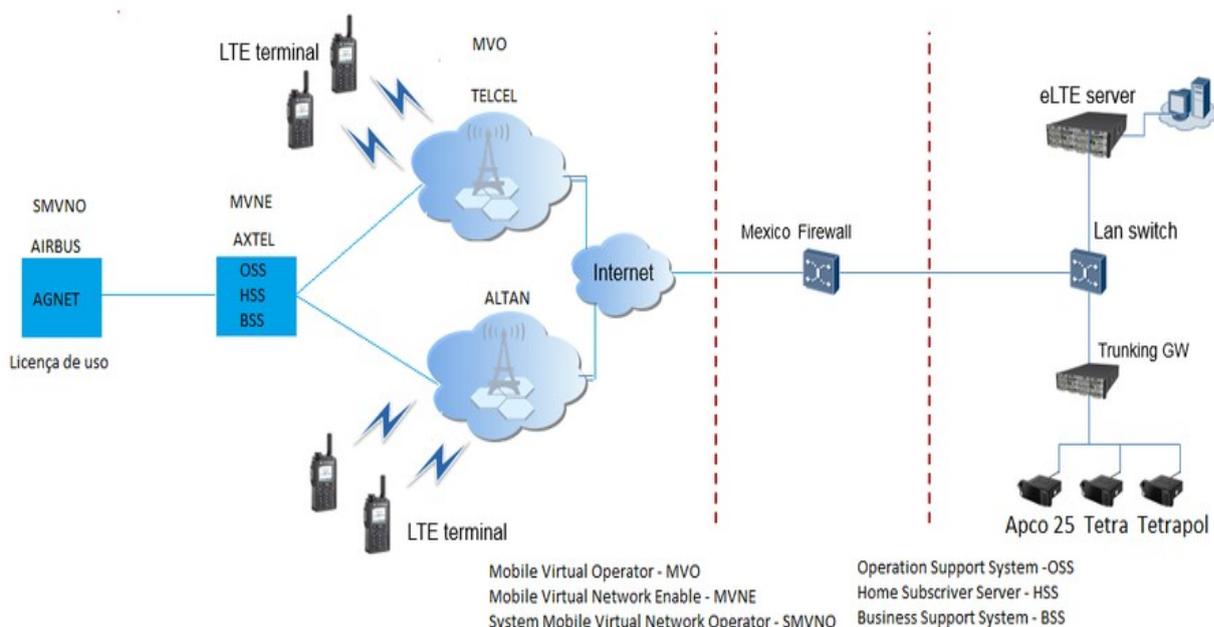
backbone uma rede corporativa de IoT (*Long-Term Evolution-IoT*). É um sistema aberto, que visa fornecer soluções de *smart grid End-to-End* (E2E), através de tecnologia 4.5G, permitindo comunicação de *backhaul* para medição de energia, aumentando a segurança, confiabilidade, e desempenho da rede (REVISTA EXAME, 2018).

O México possui uma rede TETRAPOL nacional chamada IRIS, que começou a ser implantada em 1998, e atualmente provê cobertura para 100% das capitais, 85% da população, 75% das estradas e 50% do território nacional, através da infraestrutura de 476 ERBs, 73 CNs, divididos em 32 redes para 200.000 usuários. Possui equipamentos em TDM e IP, contudo, vem sendo atualizada para toda a rede operar em IP.

A “*Red Compartida*” é uma rede que possui 90 MHz de largura de banda, na faixa de frequência de 700MHz, na tecnologia LTE. A operadora ganhadora da concorrência foi a ALTAN, que é uma habilitadora dos operadores virtuais móveis especializados (MVNE). Está em operação desde 21 de março de 2018 com 32% da população já coberta. Até 2023 a ALTAN pretende prover cobertura para 92% da população.

A seguir pode-se verificar como foi implantada a rede híbrida de CC no México.

Figura 10 – Desenho da rede híbrida no México.



Fonte: Elaboração própria.

A estratégia para a rede de segurança pública, é a utilização de uma MVNO específica para segurança pública, operada pela Airbus, através da migração gradual com interoperabilidade e segurança. A rede TETRAPOL será migrada gradualmente de TDM para IP, enquanto o operador móvel virtual Airbus provê banda larga para segurança pública através

da rede da ALTAN, utilizando um aplicativo proprietário nos UEs denominado Tactilon Agnet, que realiza a interoperabilidade com o *core* da rede nacional IRIS TETRAPOL IP e a rede LTE. Importante ressaltar que a Airbus também é fabricante dos equipamentos TETRAPOL utilizados na rede IRIS.

Diversos *smartphones* podem ser utilizados, como, por exemplo, os de fabricação da Bittium, Samsung, Sonim e Motorola. Com disponibilidade de diversas aplicações como, por exemplo, central de despacho, geolocalização, grupos de comunicação, chamadas de áudio e vídeo através de PTT, mensagens de texto, *chats*, além dos serviços básicos de telefonia em voz (VoLTE) e dados (LTE), com altas taxas e possibilidade de utilizar diferentes operadoras.

Além de integração com o serviço satelital de segurança nacional, através da Mexsat e secretaria de telecomunicações e transportes, e utilização da rede ALTAN e de plataforma para MVNE da AXTEL. Possibilidade de também utilizar terminal LTE satelital da Mexsat.

3.8.4 Aplicativos e terminais utilizados nas redes LTE para CC e interligação às redes LMR

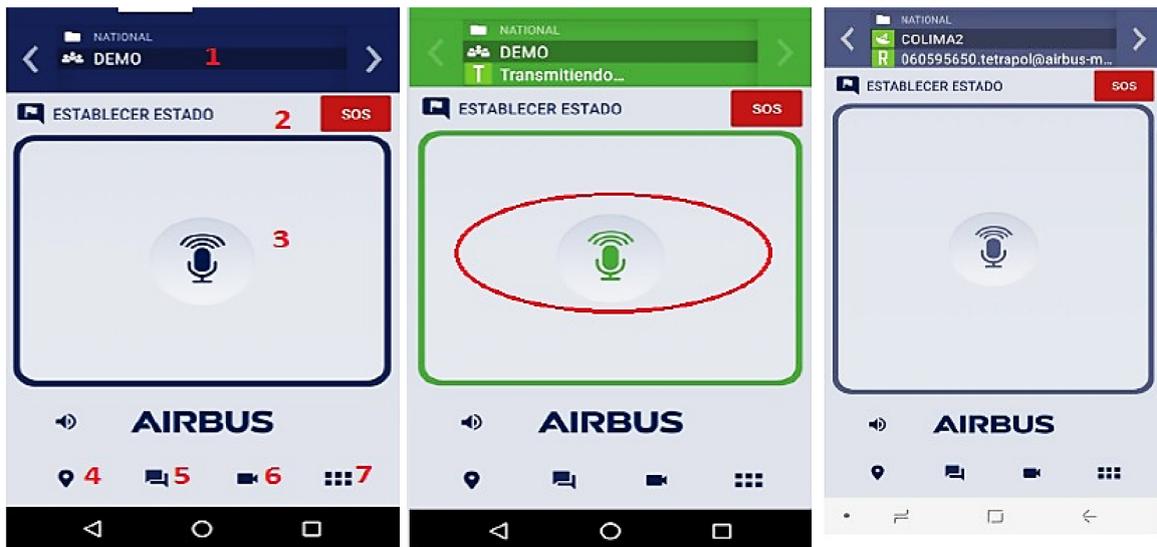
No México, através do aplicativo proprietário da Airbus, Agnet, utilizado no *smartphone* Bittium, são disponibilizadas algumas funcionalidades relacionadas à segurança, como, detecção física de manipulação, ou seja, o dispositivo detecta se as tampas internas estão abertas e destrói todas as chaves de criptografia tornando inútil o conteúdo da memória interna e do cartão de memória Secure Digital (SD); o código de acesso ao aplicativo é obrigatório e não pode ser desativado.

O aparelho pode operar com *dual* SIM, ou seja, com o SIM card da MVNO Airbus e de alguma operadora de telefonia celular. Os aparelhos disponibilizados pela Airbus para testes possuíam: *dual* SIM; controle da linha de produção, sendo projetado e fabricado inteiramente na Finlândia; inicialização segura, onde a integridade do sistema operacional e dos principais componentes de *hardware* são verificados durante a inicialização, para detectar se os componentes ou o sistema operacional foram modificados.

Além de botão PTT na lateral do aparelho; proteção contra água e poeira; 2 GB de memória RAM; 16 GB de armazenamento interno, em caso de utilização de cartão SD, a memória SD usada neste equipamento não pode ser utilizada em mais nenhum outro, pois, está associado ao equipamento por motivos de segurança; *android* 6.0; câmeras de 8 Megapixel e 2 Megapixel nas partes traseira e frontal, respectivamente.

Na Figura 11 pode-se visualizar algumas telas do aplicativo Agnet.

Figura 11 – Exemplos de telas do aplicativo Agnet.



1. grupo selecionado; 2. botão de emergência; 3. botão PTT; 4. geolocalização; 5. mensagens; 6. vídeo; 7. configurações

Para transmitir voz dentro do grupo selecionado, deve-se deixar o ícone do microfone selecionado (função PTT). Ao pressionar o botão PTT, o aplicativo deve mudar para a cor verde.

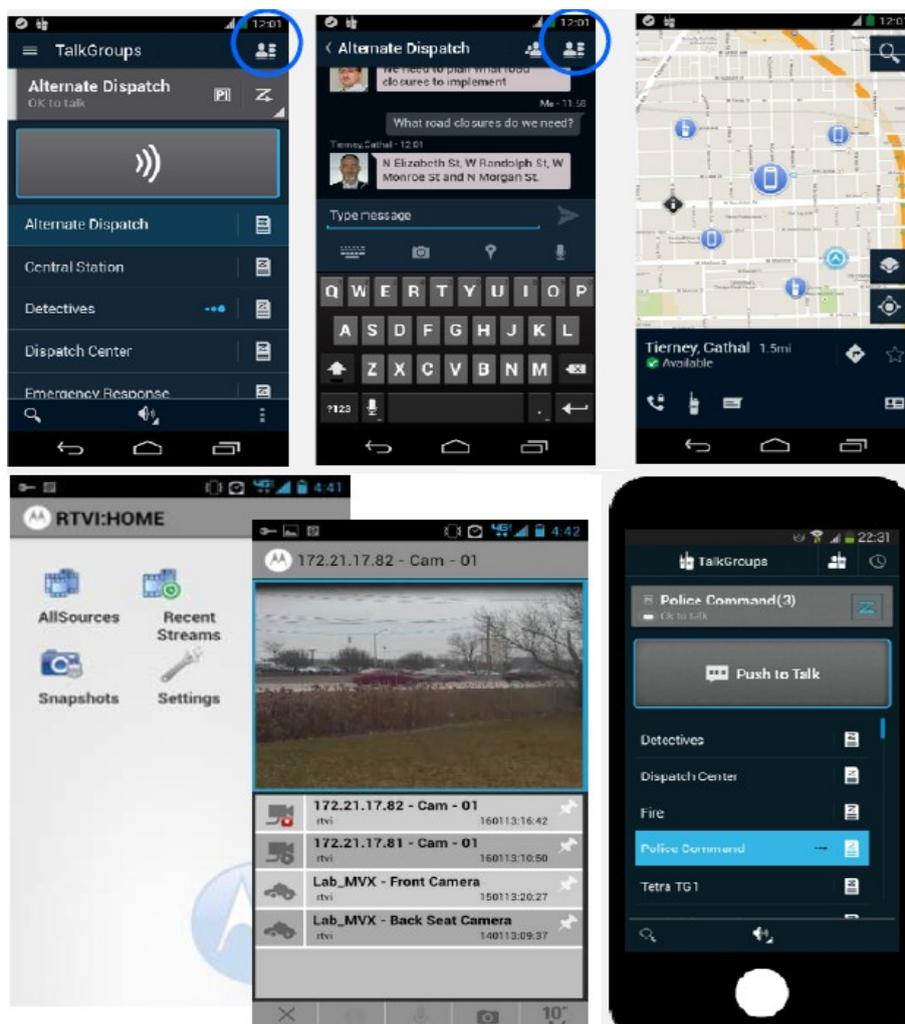
Exemplo de tela do aplicativo em modo escuta do grupo de comunicação COLIMA2

Fonte: Elaboração própria adaptado de AIRBUS (2018).

Outros fabricantes também desenvolveram aplicativos e terminais que possibilitam a integração de redes LMR e LTE. No caso do México, além do aplicativo, a Airbus também adquiriu uma licença para MVNO, e até agora, é o único dos fabricantes de equipamentos para CC que adquiriu este tipo de licença, pretendendo ser uma operadora virtual específica para usuários advindos de organizações de *Public Safety*.

Contudo, a Huawei e a Motorola também lançaram aplicativos com soluções de interoperabilidade com as atuais redes LMR, possibilitando funcionalidades como comunicações em grupo sobre rede IP, PTT, geolocalização, mensagens de texto, entre outros. O aplicativo da Motorola tem o nome de Wave 7000, e vêm sendo utilizado no projeto *FirstNet*, algumas telas são exibidas na Figura 12, adaptada de Motorola *Solutions* (2017).

Figura 12 – Exemplos de telas do aplicativo Wave 7000.



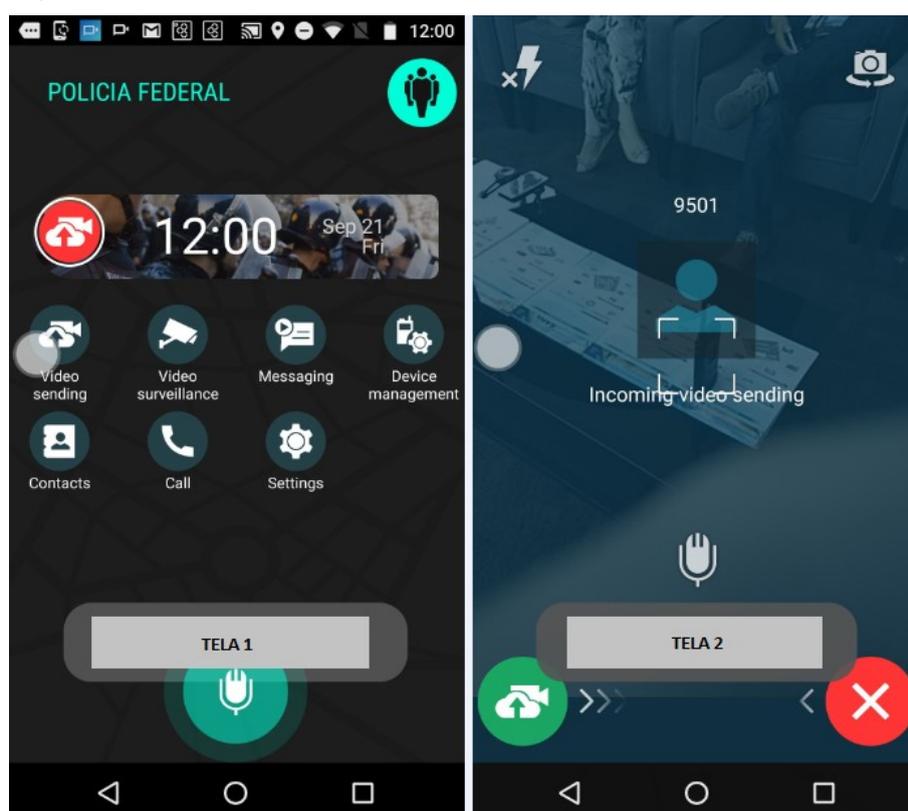
Fonte: Elaboração própria, adaptado de Motorola Solutions (2017).

A Motorola e a Huawei também desenvolveram terminais destinados ao uso em missão crítica, como, por exemplo o aparelho L10 da Motorola, disponível para as bandas 4G LTE (Banda 28 e Operadoras), 3G e 2G; robustecido, resistente a queda e submersível até a 1 m de água por 30 minutos; tela 4.7” *Touch Screen*; botão de PTT tático dedicado; tampa traseira removível para troca de bateria; 10h de operação com bateria normal e 20h de operação com bateria estendida; com relação à segurança, também oferece criptografia via *hardware*.

Já a Huawei, foi o primeiro fabricante a desenvolver soluções para *professional trunking* baseados em LTE. Atualmente atua com LTE no mercado de *smart cities*, *public safety*, *smart grid* e transportes, com mais de 200 redes LTE já implantadas em mais de 100 países no mundo, incluindo Tailândia, Paquistão, China, Indonésia, Argentina, Espanha e recentemente, aplicações de *smart city* no Brasil (mais especificamente no Estado da Bahia), que teve ampla repercussão na mídia, através de um caso de reconhecimento facial de um procurado da justiça durante o carnaval de 2019 em Salvador (CORREIO 24 HORAS, 2019).

Dentre os países citados anteriormente, a Tailândia foi o primeiro país a implantar uma rede *trunking* multimídia toda baseada nos protocolos da 3GPP, com 340 eNodeBs, 45.000 *handsets* e 10.000 *body cameras*. Na cidade de Wujiang, China, a polícia é a que utiliza mais aplicativos LTE no mundo, possuindo mais de 60 aplicações desenvolvidas para segurança pública. O aplicativo desenvolvido pela Huawei, concorrente do Agnet e Wave 7000, chama-se eComm, com algumas telas exibidas a seguir.

Figura 13 – Telas eComm.



Fonte: Elaboração própria

Como exemplo de rádio integrado a *smartphone*, de fabricação da Huawei, tem-se o aparelho EP820, que integra serviços de voz, dados e vídeo, utiliza sistema operacional *android* 4 e pode acessar redes LTE públicas e privadas. Possui tela de 4,5 polegadas, tecla PTT, operação em modo direto (DMO), é a prova d'água, poeira e resistente a impactos, disponível para as bandas 4G LTE, 3G e 2G; possui criptografia de *interface* aérea; criptografia de ponta a ponta e possibilidade de ativação e desativação remota do terminal; resolução das câmeras traseira e frontal, respectivamente de 13 e 5 megapixels.

4 SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO CRÍTICA E AVALIAÇÃO DE TECNOLOGIA: ANÁLISE A PARTIR DA REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA

O objetivo desta seção é identificar o estado da arte sobre AT em sistemas de comunicação crítica, e como esta AT pode auxiliar no processo de Tomada de Decisão pelos gestores dos órgãos, quanto ao futuro destes sistemas.

Objetiva-se também, verificar a viabilidade da aplicação de conceitos existentes em outras ciências no objeto de estudo. Para isto, foi realizado estudos bibliométricos e revisão bibliográfica, objetivando identificar, principais autores, revistas e termos utilizados dentro do contexto do objeto de pesquisa.

Após escolha dos termos, baseados em bibliometria e bibliografia, foi realizada uma revisão sistemática de literatura (RSL) em quatro bases de dados distintas, escolhidas a partir de critérios pré-estabelecidos, com o objetivo de buscar o que já existe publicado dentro do objeto de pesquisa nos últimos cinco anos.

Esta forma sistemática viabiliza revisões futuras, desde que se utilize os mesmos procedimentos adotados, podendo, desta forma, ser repetida, o que valida a RSL, tornando-a auditável, imparcial e isenta. De acordo com Dresch, Lacerda e Antunes Júnior (2015), a RSL é utilizada, entre outras funções, para mapear resultado de estudos relevantes acerca de um assunto, assim como, identificar possíveis lacunas.

4.1 ETAPAS DA APLICAÇÃO

Existem vários métodos para se realizar uma RSL, nesta pesquisa, optou-se por utilizar o método desenvolvido pela Cochrane *Collaboration* (2018), devido à representatividade que possui no meio acadêmico com mais de 9 mil RSLs já publicadas na área de saúde, e disponíveis na Biblioteca Cochrane (www.cochranelibrary.com/). Por tratar-se de um método com estrutura já consolidada, pode-se replicar em outras do conhecimento que demandem RSL, não sendo restrito a aplicações na área da saúde.

Segundo este método, 7 etapas devem ser realizadas, sendo estas: etapa 1 - pergunta de pesquisa; etapa 2 - localização e seleção dos estudos; etapa 3 - avaliação crítica dos estudos; etapa 4 - seleção dos dados para análise; etapa 5 - análise e apresentação dos dados; etapa 6 - interpretação dos dados; etapa 7 - aprimoramento e atualização.

Pretende-se, através da RSL, realizar pesquisas em base de dados de referência, de acordo com a atribuição dada pelo sítio web Periódicos Capes (CAPES), considerando as áreas de conhecimento e quantidade de periódicos disponíveis.

4.1.1 Localização e seleção dos estudos

A primeira etapa consistiu em identificar as palavras-chave relevantes para o objeto de pesquisa. Assim como, que métodos utilizar para proceder esta identificação, que possibilitem utilizar procedimentos metodológicos específicos, à luz do contexto do objeto de pesquisa.

De acordo com Noronha e Maricato (2008), estudos bibliométricos fornecem subsídios significativos, que auxiliam pesquisadores na busca das melhores referências para seus trabalhos. Neste sentido, “pesquisar a natureza e o uso incidente das citações bibliográficas utilizadas em determinada área científica, converte-se em tarefa relevante que propicia o rastreamento do caminho percorrido pelos estudiosos desta área” (ZANINE; PINTO; FILIPPIM, 2012, p. 125).

As leis bibliométricas são o suporte para o estudo métrico da ciência, sendo estas: Lei de Bradford, que objetiva medir a produtividade de periódicos; Lei de Lotka, que objetiva medir a produtividade dos autores e Lei de Zipf, para medir a frequência de palavras de um texto (GUEDES; BORSCHIVER, 2005).

Dentro do contexto das leis bibliométricas, neste estudo foi utilizado a lei de Zipf para auxílio na identificação das palavras-chave, por tratar-se de uma lei que objetiva indicar a distribuição de palavras em um texto, tendo como objetivo, selecionar as terminologias mais representativas utilizadas pelos autores dentro da temática do objeto de estudo, para utilizá-los no texto, título, ou até mesmo nas palavras-chave. Após a identificação destas palavras, foi realizada RSL nas bases de dados selecionadas.

Para realizar a bibliometria, foi utilizada a base de dados *Web of Science* – coleção principal (*Clarivate Analytics*), com acesso através do portal de periódicos da Capes. Esta base foi escolhida para a realização dos estudos bibliométricos, devido a sua representatividade no meio acadêmico e características multidisciplinares.

Na base de dados *Web of Science*, no sistema de busca, foi utilizada a expressão “*public safety*”, selecionando o tempo estipulado nos últimos cinco anos até 02/07/2018. Em refinar resultados foi selecionado em Categorias da *Web of Science* as opções: *engineering electrical electronic; telecommunications* e em tipo de documento foi selecionado artigo. Resultando um total de 270 artigos. Foi exportado o conteúdo como registros completos e referências citadas.

Utilizando a coluna referente as palavras-chave, analisando os dados exportados, foram encontrados 511 termos, classificando os termos em ordem decrescente de aparição, verifica-se que o termo que mais aparece é *systems* com 26 aparições. A lei de Zipf determina realizar a raiz quadrada do valor encontrado de número de aparições do termo que mais aparece na pesquisa, desta forma, fazendo a raiz quadrada de 26, tem-se 5 como resultado. Aplicando a Lei de Zipf, os termos mais relevantes serão aqueles que possuírem uma frequência que varie de 26 até 5 aparições, resultando em 35 termos.

Como análise qualitativa, foi verificado dentro dos 35 termos, quais poderiam ter relação com o objeto de estudo. Após essa análise, foram selecionados 21 termos, entre estes termos, alguns são similares como *systems* com 26 aparições e *system* com 11; *public safety* com 10 aparições e *safety* com 5; *ad-hoc networks* com 7 aparições e *ad hoc networks* com 6.

Antes desta consulta denominada de cenário 2, havia sido realizada uma consulta mais aberta, contemplando mais categorias, denominada cenário 1, nas categorias do *Web of Science*, opções: *engineering electrical electronic; telecommunications; engineering multidisciplinar; communication; social sciences interdisciplinary; management; multidisciplinary sciences; planning development; operations research management science; physics applied; automation control systems; information science library science*.

Em “Tipo de Documento” foi selecionado “Artigo”, resultando um total de 1.188 resultados. A aplicação da Lei de Zipf para o cenário 1 resultou em 79 termos. Como análise qualitativa, foi verificado dentro dos 79 termos, quais poderiam ter relação com o objeto de estudo, sendo selecionados 17 termos.

Para a etapa de análise dos termos mais indicados, também foi verificado na bibliografia referente ao tema de pesquisa, dentro das áreas de engenharia eletrônica e de telecomunicações, os termos mais comuns entre os autores, sendo estes: *land mobile radio cellular systems, land mobile radio, antenna measurements, ppdr (public protection and disaster relief)*, que não aparecem nas listas indicadas a partir da aplicação da Lei de Zipf. Além dos termos: *model / models; systems / system; communication; networks; lte / long-term evolution / long term evolution; public safety / safety e technology / technologies*, que aparecem nas listas a partir da aplicação da Lei de Zipf.

Fazendo uma análise dentro da bibliografia referente ao tema de pesquisa, dentro da área de AT, os termos mais comuns entre os autores não aparecem nas listas indicadas pela lei de Zipf, estes termos são: *technology assessment e technological assessment*.

Fazendo uma análise dentro da bibliografia referente ao tema de pesquisa, dentro da área de Tomada de Decisão, o termo mais encontrado é *decision-making*, termo este que já está inserido nos temas indicados pelo cenário 1.

Realizando uma análise quantitativa e qualitativa dentro dos termos indicados pelos estudos bibliométricos para os cenários 1 e 2, constatou-se que alguns termos aparecem nos dois cenários. Alguns termos que aparecem nos dois cenários possuem relação, e existem ainda termos que estão incluídos em apenas um cenário, contudo, também aparecem entre os termos mais encontrados na revisão bibliográfica.

A partir destas análises, pode-se concluir que 13 termos devem possuir referências neste estudo, considerando a existência de relação nas buscas realizadas para os cenários 1 e 2 e ainda bibliografia relacionada ao objeto de pesquisa. Estes 13 termos são listados no quadro abaixo, com seus respectivos critérios de inclusão.

Quadro 4 – RSL - Termos que deverão ser utilizados no estudo e critérios de inclusão.

TERMOS	CRITÉRIOS DE INCLUSÃO
MODEL / MODELS	Cenários 1, 2 e bibliografia
MANAGEMENT	Cenários 1, 2
SYSTEMS / SYSTEM	Cenários 1, 2 e bibliografia
COMMUNICATION	Cenários 1, 2 e bibliografia
NETWORKS	Cenários 1, 2 e bibliografia
LTE / LONG TERM EVOLUTION / LONG-TERM EVOLUTION	Cenários 1, 2 e bibliografia
PUBLIC SAFETY / SAFETY	Cenários 1, 2 e bibliografia
TECHNOLOGY / TECHNOLOGIES	Cenários 1, 2 e bibliografia
DECISION-MAKING	Cenário 1 e bibliografia
LAND MOBILE RADIO CELLULAR SYSTEMS / LAND MOBILE RADIO	Bibliografia
ANTENNA MEASUREMENTS	Bibliografia
PPDR / PUBLIC PROTECTION AND DISASTER RELIEF	Bibliografia
TECHNOLOGY ASSESSMENT / TECHNOLOGICAL ASSESSMENT	Bibliografia

Fonte: Elaboração própria.

Dentro deste grupo de 13 termos, verificando quais destes poderiam ter mais relação com o objeto da pesquisa, foram escolhidos 6 para serem utilizados como palavras-chave na realização da RSL, considerando também possíveis relações entre os termos. Desta forma, as palavras-chave escolhidas para a RSL foram: 1. *public safety / safety / ppdr / public protection and disaster relief*; 2. *land mobile radio cellular systems / land mobile radio*; 3. *technology assessment / technological assessment*; 4. *LTE / long term evolution / long-term evolution*; 5. *communication*; 6. *decision-making*.

4.1.2 Utilização das palavras-chave para realização da RSL

A partir das combinações das palavras chaves com operadores lógicos, são criadas as *strings* de busca, para consulta nas bases de dados. Os termos são combinados e utilizados nas línguas inglesa e portuguesa, resultando na formação de 57 *strings*. Para a formação das *strings*, são realizadas combinações sem repetição entre os termos, ou seja, análise combinatória.

Após a definição das *strings* de busca, foi verificado quais bases de dados seriam utilizadas. Para isto, considerou-se relevância das bases; áreas do conhecimento abrangidos, considerando o objeto de pesquisa deste estudo e quantidade de pesquisas disponíveis, de acordo com as informações fornecidas pelo periódico Capes, CAPES (2018). Diante desta análise, foram escolhidas quatro bases de dados, sendo estas:

- SCOPUS - Base de dados multidisciplinar cobrindo diversas áreas como Ciências Biológicas, da Saúde, Físicas, Sociais e Engenharias (CAPES, 2018).
- SciELO – Base de dados de livros que indexa trabalhos acadêmicos de diversas áreas do conhecimento (CAPES, 2018).
- *Web of Science* – Base de dados multidisciplinar com resumos que indexa os periódicos com maior número de citações em suas áreas, é composta por: SCI-EXPANDED, SSCI, A&HCI, CPCI-S, CPCI-SSH (CAPES, 2018).
- IEEE – Base de dados, dentro das áreas das engenharias, que disponibiliza periódicos; normas técnicas; anais de congressos e conferências publicados pelo *Institute of Electrical and Electronic Engineers* (IEEE) e pela *Institution of Engineering and Technology* (IET) (CAPES, 2018).

Após definição das *strings* de busca e bases de dados a serem consultadas, foi realizada uma relação entre as *strings*, base de dados consultadas, e número de pesquisas encontradas.

4.1.3 Análise crítica dos estudos

Após realização das buscas nas bases de dados, através da utilização das *strings*, faz-se necessário o estabelecimento de critérios que devem ser utilizados para decisão de inclusão ou não das pesquisas encontradas nas buscas. Estes critérios são utilizados como filtros aplicados nas pesquisas. Neste estudo foram aplicados quatro critérios, são eles:

Primeiro critério: utilização de filtragem considerando simultaneamente: idiomas português e inglês, e intervalo de tempo para os últimos cinco anos até a data 29/10/2018, nas 4 bases de dados selecionadas. Totalizando 73.305 coincidências.

Segundo critério: leitura do título e resumo de todos os artigos encontrados para a busca combinada de 4 ou mais *strings*, com verificação se podem ser contextualizados dentro do objeto desta pesquisa. Este critério resultou na verificação de 125 trabalhos, destes, 8 na base Scopus, 0 na base Scielo, 26 na *Web of Science* e 91 na IEEE. Destes 125 trabalhos, após a realização desta etapa, restaram 25.

Terceiro critério: apenas as pesquisas que tenham atendido aos crivos dos dois critérios anteriores serão analisadas para este terceiro critério, sendo este, a leitura da introdução e conclusão, com verificação se podem ser contextualizadas dentro desta pesquisa, esta etapa resultou na seleção de 2 trabalhos. Sendo estes: Sakib (2016) e Batista et al. (2014), que apesar que trazerem importantes contribuições para esta pesquisa, não se tratam de AT para CC.

Quarto critério: apenas as pesquisas que tenham atendido aos crivos dos três critérios anteriores serão analisadas para este quarto critério, sendo este, a submissão de uma busca cruzada. A busca cruzada consiste em verificar as referências citadas dentro das pesquisas que atenderam a todos os critérios anteriores, em seguida é realizada uma verificação se a pesquisa citada também foi encontrada através das buscas realizadas nas bases através das *strings*.

Caso esta pesquisa não tenha sido encontrada através das buscas, deve-se verificar se a pesquisa citada é importante para o escopo deste estudo. Sendo importante, deve ser analisada, passando pelos primeiros, segundo e terceiro critérios (ALMEIDA; CONFORTO; SILVA, 2012). Esta análise resultou na inclusão dos seguintes trabalhos: Phunchongharn, Hossain e Kim (2013) e Fodor et al. (2013).

4.1.4 Seleção e análise dos dados obtidos

Foram selecionadas as pesquisas de Sakib (2016); Batista et al. (2014); Phunchongharn, Hossain e Kim (2013); e Fodor et al. (2013), para estas, deve-se realizar a leitura completa dos artigos, com o objetivo de buscar nos textos conteúdo dentro dos contextos das palavras-chave.

Após leitura completa dos estudos citados no parágrafo anterior, constatou-se que, apesar destes trabalhos apresentarem importantes contribuições para a pesquisa, não se tratam de AT para CC. Também não foram encontradas metodologias específicas para o desenvolvimento do presente estudo, sendo necessário propor uma metodologia a ser aplicada nesta pesquisa, com posterior validação através da aplicação em um caso concreto.

Apesar de a RSL apresentar como resultados das buscas, os estudos mais recentes na temática selecionada, a busca por novas pesquisas deve ser constante, objetivando posicionar o trabalho dentro dos conceitos e aplicações mais recentes no contexto da área pesquisada.

5 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

A presente pesquisa é de natureza aplicada, devido ao interesse prático, objetivando resultados utilizáveis na solução de problemas reais. A busca da descrição, e compreensão de processos relacionados ao objeto de pesquisa, caracteriza a abordagem como qualitativa, como também, na medida em que a pesquisa busca, através de valoração numérica, estimar as tecnologias avaliadas, caracteriza-se como quantitativa, podendo, desta maneira, ser classificada como de abordagem quali-quantitativa.

Através de uma pesquisa exploratória e descritiva, sob a forma de estudo de caso, procura-se explorar o problema, de modo a fornecer informações para uma investigação mais precisa, como também, fazer uma descrição do objeto de estudo. Desta forma, propõem-se um método para Avaliação de Tecnologia em comunicações críticas, com aplicação em um órgão público federal, com a finalidade de avaliação e validação do método proposto, bem como, a identificação de lacunas e oportunidades para pesquisas posteriores que possam igualmente contribuir para a AT no âmbito da Segurança Pública.

São utilizados dados primários e secundários, os dados secundários foram obtidos através de RSL e revisão bibliográfica, através de livros, artigos científicos e documentações disponibilizadas por órgãos como o *European Radiocommunications Committee* (ERC), *Federal Communications Commission* (FCC), *Tetra & Critical Communications Association* (TCCA), *3rd Generation Partnership Project* (3GPP), *European Telecommunication Standards Institute* (ETSI), Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel), *Telecommunications Industries Association* (TIA) e *TETRAPOL Forum*.

Posteriormente, para a coleta de dados primários, foram realizadas entrevistas com 10 especialistas na área de pesquisa, sendo estes pertencentes ao quadro funcional de diferentes órgãos de segurança pública e diferentes fabricantes de equipamentos para CC, como também, especialistas vinculados ao Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTIC).

Para os testes de usabilidade dos rádios, também foram coletados dados primários, através da aplicação do experimento com 15 usuários dos sistemas, em 3 órgãos federais distintos de segurança pública e defesa. Para levantamento de dados da dimensão tecnologia, os dados primários foram obtidos através de respostas a questionários, realizados para 3 órgãos federais distintos de segurança pública e defesa, como também, para 9 especialistas vinculados a estes órgãos. Ao todo foram consultados 3 órgãos federais e entrevistadas 34 pessoas.

Maiores detalhes sobre a coleta de dados e o tratamento do conteúdo são apresentados na próxima seção, ao ser apresentada cada dimensão que compõe o modelo proposto.

6 METODOLOGIA PROPOSTA: MODELO DE SEIS PASSOS PARA AT

O resultado da RSL indicou que existem diversas maneiras de se trabalhar com AT. As ATs são trabalhadas em contextos específicos, adequando-se ao processo em questão. Diversos são os contextos onde são aplicadas AT, contudo, não foi encontrado no contexto específico de CC. Sendo, por isto, necessário o desenvolvimento de uma metodologia para o objeto de estudo, com posterior validação através da aplicação do método em uma organização.

Para isto, o entendimento dos contextos onde a organização está inserida faz-se necessário, direcionando os estudos para aquele ambiente. Foi escolhida uma organização de segurança pública, de abrangência nacional, para aplicação do método, caracterizando, desta forma, um estudo de caso, com foco em AT para CC. Tendo como objetivo, auxiliar a Tomada de Decisão por parte dos gestores, na escolha de uma tecnologia, através do desenvolvimento ou adoção tecnológica, que possibilite melhor atendimento à população, com ações que tenham impactos positivos na sociedade, como, por exemplo, na redução da criminalidade.

Qual deve ser o alvo dos investimentos públicos em tecnologia visando redução da criminalidade? Para responder a essa pergunta, é necessário refletir sobre quais indicadores se almeja atingir. Além do foco em investimentos capazes de reduzir o custo operacional das forças de segurança, proporcionando aumento da eficiência dos gastos públicos e otimização no uso dos recursos humanos por operação.

No intuito de encontrar respostas para estes questionamentos, foi desenvolvido neste estudo uma série de passos a serem seguidos, denominados ‘modelo de seis passos para AT’. Tendo como intuito contribuir para a busca do bem-estar social, que partindo de uma visão ampla da sociedade, constitui a principal razão da existência da ciência de AT e ATC.

Os seis passos do modelo proposto são:

- 1) Ter melhor entendimento do Sistema de Atividades, quem são os sujeitos envolvidos, quais são os meios utilizados para a realização da atividade e, por fim, qual o objetivo da atividade. Coleta de dados através de entrevistas com especialistas, a partir da aplicação dos estágios 1 e 2 da metodologia de Mwanza (2001), que será descrita na seção 6.1.
- 2) Construção do diagrama canvas para o Sistema de Atividades, a partir da aplicação do estágio 2 da metodologia de Mwanza (2001), com contribuições de Mello (2018) e formato proposto por Mello e Neves (2018), Mello (2018).
- 3) Construção do modelo conceitual do sistema de CC, considerando o sistemismo de Bunge, através do modelo CESM.

- 4) Proposta de construção do modelo de AT adequado para o Sistema de Atividades.
- 5) Definição dos parâmetros da PoC para novas tecnologias e, caso possível, realização da PoC com custos e projeções para a nova tecnologia, considerando todas as caixas, ligações e fluxos informacionais.
- 6) Desenho do modelo de AT, unindo as informações levantadas nos passos anteriores, de forma resumida, atribuindo pesos de quanto determinada tecnologia atende as necessidades de cada caixa com os custos envolvidos, e projeções de retorno para a sociedade. Os números apresentados devem ser normalizados para facilitar a comparação, por isto, foram utilizados valores percentuais.

Na Figura 14 pode-se visualizar o modelo de 6 passos, proposto para AT.

Figura 14 – Modelo de 6 passos para AT.



Fonte: Elaboração própria.

Para a realização do primeiro passo da metodologia proposta, foi necessário a coleta de dados. Para isto, utilizou-se como base a análise da atividade a partir da Teoria da Atividade,

que constitui um modelo que tem como unidade básica, a atividade, e aborda o contexto desta, ao analisar práticas humanas em seus níveis individuais e sociais de forma interligada.

6.1 PASSOS 1 E 2 – ENTENDIMENTO DO SISTEMA DE ATIVIDADES E CONSTRUÇÃO DO CANVAS

Dentre os métodos que operacionalizam a aplicação da Teoria da Atividade para contextos de Interação Humano-Computador (IHC), Mwanza (2001) propôs uma metodologia que guia o processo de coleta e interpretação de dados para levantamento de requisitos, ao utilizar o modelo Sistema de Atividades de Engeström (1987) como modelo heurístico.

O método viabiliza a análise das práticas de trabalho e entendimento do contexto social e cultural da comunidade, ao mesmo tempo, em que considera aspectos de mediação através das ferramentas, regras e divisão de trabalho. O processo de operacionalização é aplicado em oito estágios, dos quais, os seis primeiros foram utilizados neste estudo, sendo estes: modelagem da situação examinada; produção do sistema de atividade da situação; decomposição do sistema de atividade da situação; geração de questões de pesquisa; condução de investigação detalhada; e interpretação dos achados.

Os seis estágios foram aplicados em diferentes passos da metodologia criada, com o propósito de entender os componentes e o contexto, conforme procedimentos a seguir.

1) Estágio 1 - Modelagem da situação examinada:

Realizada através da aplicação de entrevistas com sujeitos da atividade, em ambiente reservado, em sessões com gravação do áudio, mediante o consentimento dos participantes, através de assinatura de termo de participação em pesquisa científica, com proibição de divulgação dos dados pessoais dos entrevistados, conforme documento no Apêndice E. Iniciadas com uma explicação sobre o experimento, seguidas da aplicação das questões. As questões foram definidas, tomando por base, as diretrizes de Mwanza (2001), sendo estas:

- 1. Atividade de interesse: em que tipo de atividade estou interessado?
- 2. Objeto ou objetivo da atividade: por que esta atividade ocorre?
- 3. Sujeitos da atividade: quem está envolvido na realização desta atividade?
- 4. Ferramentas de mediação da atividade: através de que meios os sujeitos realizam a atividade?
- 5. Regras e regulações de mediação da atividade: existem normas culturais, regras ou regulamentos que regem o desempenho dessa atividade?

- 6. Divisão de trabalho de mediação da atividade: quem é responsável pelo que ao realizar esta atividade e como os papéis são organizados?
- 7. Comunidade em que a atividade é conduzida: qual o ambiente em que esta atividade é realizada?
- 8. Qual é o resultado desejado ao realizar esta atividade?

Mello (2018) acrescentou uma pergunta complementar que não estava prevista no método de Mwanza (2001), sendo esta:

- 9. Movimentos desejantes: Se pudesse resolver qualquer aspecto relacionado à sua atividade, o que seria?

Esta sugestão foi incorporada neste estudo. Também foram propostas o acréscimo de outras questões ao modelo, também para auxiliar na elucidação de dificuldades encontradas para o sistema de atividades em estudo, e para auxílio da elaboração do questionário para levantamento dos cenários atuais nos órgãos, sendo estas:

- 10. Dificuldades para a realização da atividade: Quais as principais dificuldades que você identifica no cenário atual do seu país para a realização da atividade?
- 11. Oportunidades para realização da atividade: Quais oportunidades você percebe no avanço de tecnologias para a atividade no seu país e a possibilidade de parcerias com outros países?
- 12. Governança para realização da atividade: Que implicações legais, econômicas e sociais você considera pertinentes nesta decisão de implementação de novas tecnologias para a sua atividade?
- 13. Nível de transferência e aproveitamento da tecnologia existente e identificação de dificuldades para implantação de tecnologias futuras, para a realização da atividade: Qual a sua opinião sobre a possibilidade de interoperabilidade entre os órgãos envolvidos na atividade através das tecnologias atuais e através das tecnologias futuras para a realização da atividade?
- 14. Movimentos desejantes para governança: Na sua opinião qual seria um modelo ideal de governança para a realização da atividade no seu país, considerando as tecnologias atuais e as que se apresentam como novas tecnologias?

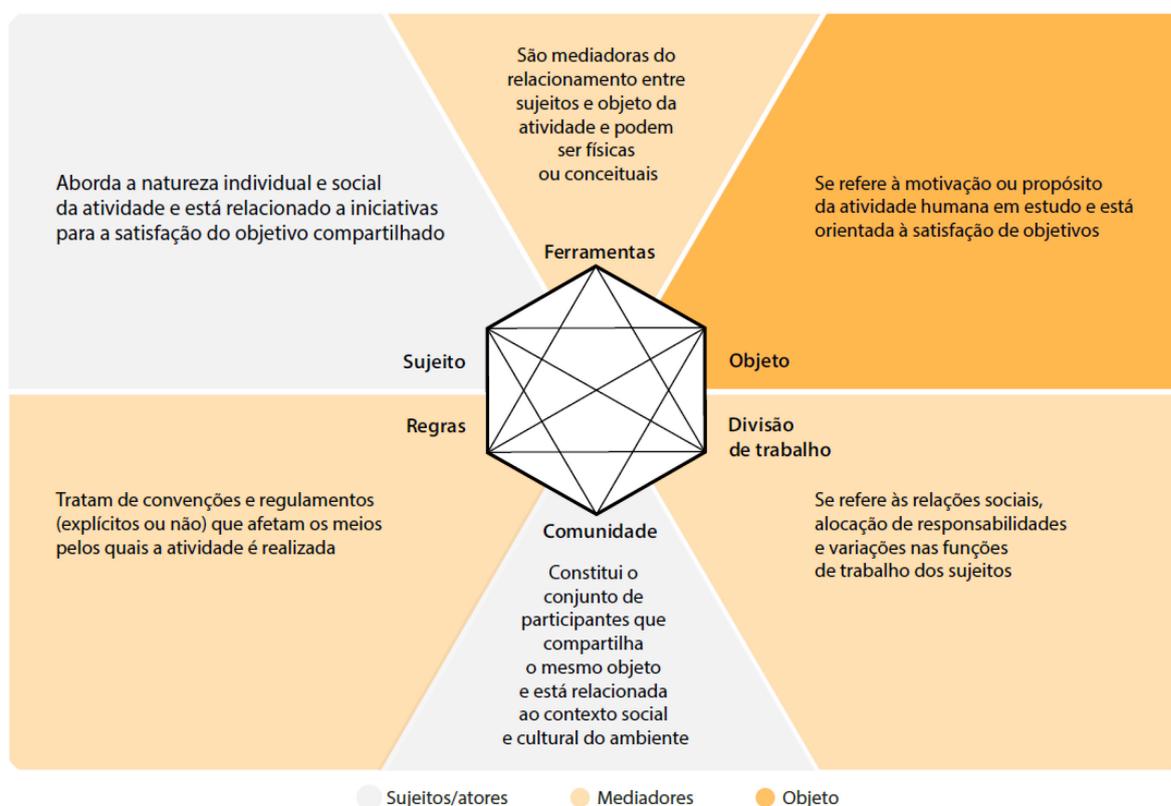
2) Estágio 2 - Produção do Sistema de Atividade da situação:

A partir dos dados coletados na aplicação das entrevistas, foi possível identificar componentes e produzir o Sistema de Atividades em estudo. Mello e Neves (2018, p. 331), apresentam uma adaptação ao procedimento adotado por Mwanza (2001), ao proporem um

diagrama do Sistema de Atividades, com representação hexagonal, baseado em Amstel (2010), em lugar do diagrama de segunda geração de Engeström (1987).

Além de propor um formato em canvas, denominado pelos autores como “diagrama canvas de análise da atividade”. A construção deste canvas para o objeto de estudo é apresentado na seção de resultados. Abaixo, na Figura 15, pode-se visualizar o canvas do Sistema de Atividades de forma conceitual.

Figura 15 – Canvas do Sistema de Atividades, forma conceitual.



Fonte: Elaboração própria, adaptado de Mello & Neves (2018).

A identificação dos Sujeitos/atores; Mediadores; e Objeto, é essencial para a construção dos questionários aplicados para levantamento de cenários e avaliação das tecnologias, conforme será abordado em seções posteriores.

6.2 PASSO 3 – CONSTRUÇÃO DO SISTEMA ATRAVÉS DO CESM

Considerando as respostas das entrevistas para a construção do sistema, adequando-se ao sistemismo do modelo CESM, aliado à Teoria da Atividade em contextos de Interação Humano Máquina (IHC) para operacionalização, foi possível levantar quais seriam os elementos e a relação entre estes, e construir o sistema, apresentado na seção resultados.

Esta redução descreve um sistema pelo CESM, para esta construção, coloca-se o Sistema de Atividades no seu contexto mais amplo, dividindo-o em sua composição, ambiente e estrutura; distinguindo os níveis do sistema; e exibindo as relações entre os elementos, através das estruturas e dos mecanismos.

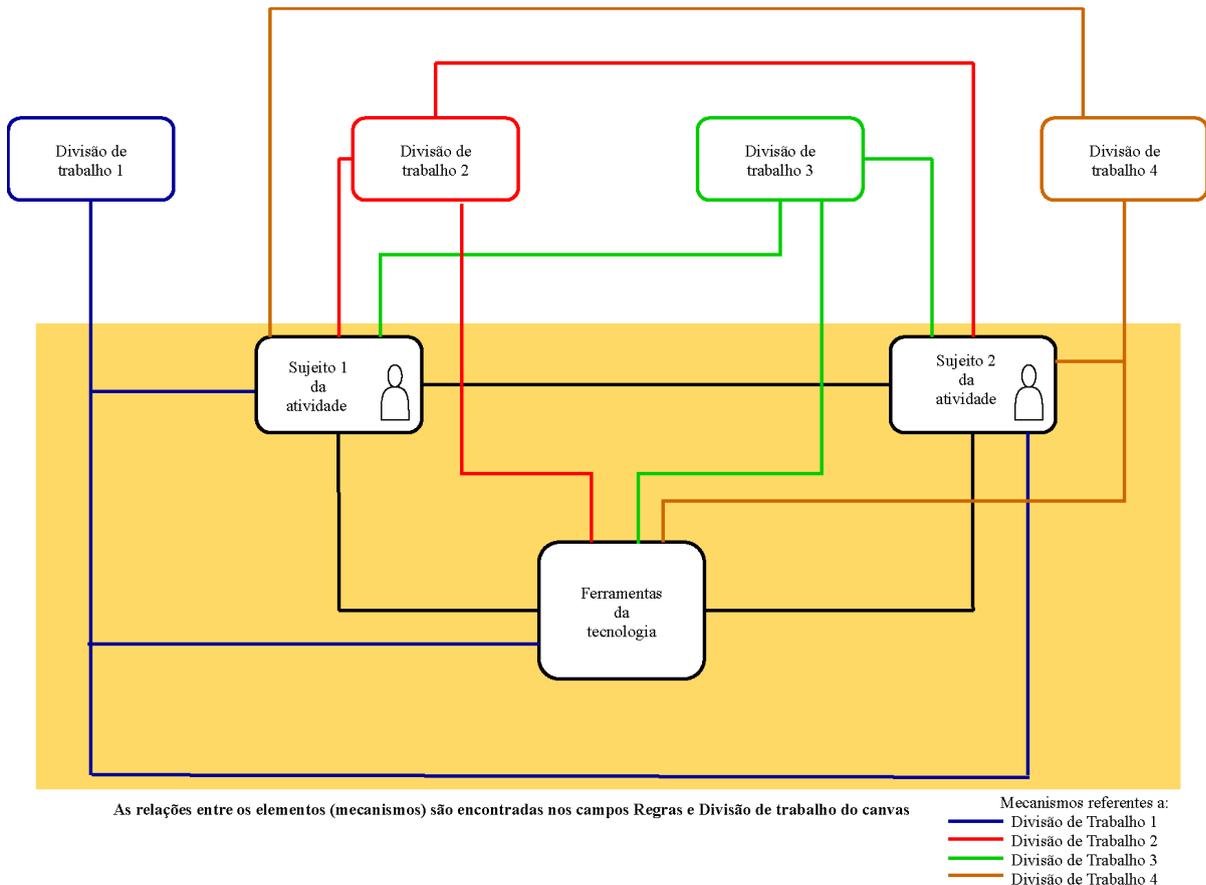
A composição é atômica, ou seja, cada componente é um átomo do sistema. Desta forma, os componentes do sistema serão os sujeitos e ferramentas do canvas, cada sujeito deve ser representado, as ferramentas podem ser representadas por um único elemento.

Já o ambiente são itens externos que atuam ou sofrem ação de algum componente, estes elementos pertencentes ao ambiente podem ser identificados no campo divisão de trabalho do canvas, agrupando os itens deste campo, pode-se identificar os elementos que fazem parte do ambiente.

A estrutura são as ligações entre componentes e entre estes e o ambiente, ou seja, na Figura 16, são representadas pelas linhas que ligam as caixas. Já os mecanismos são os processos que atuam sobre as transformações, podendo ocasionar o crescimento ou o colapso do sistema, ou de alguma propriedade do sistema, são representados através das relações entre estes elementos. A estrutura é a ligação e o mecanismo é o processo relacionado a esta ligação.

Estes mecanismos podem ser encontrados nos campos regras e divisão de trabalho do canvas. Além disto, os campos objeto, ferramentas e comunidade do canvas, auxiliam no entendimento do Sistema de Atividades de maneira ampla, auxiliando na identificação e construção do CESM. Abaixo pode-se visualizar o modelo conceitual para o sistema e sua relação com o canvas do Sistema de Atividades.

Figura 16 – Representação do sistema através do CESM, forma conceitual.



Fonte: Elaboração própria

Em caso de mau funcionamento do sistema, deve-se examinar todas as quatro fontes possíveis (C, E, S, M) e tentar reparar o sistema, alterando algumas ou todas as fontes.

6.3 PASSO 4 – CONSTRUÇÃO DO MODELO DE AVALIAÇÃO TECNOLÓGICA

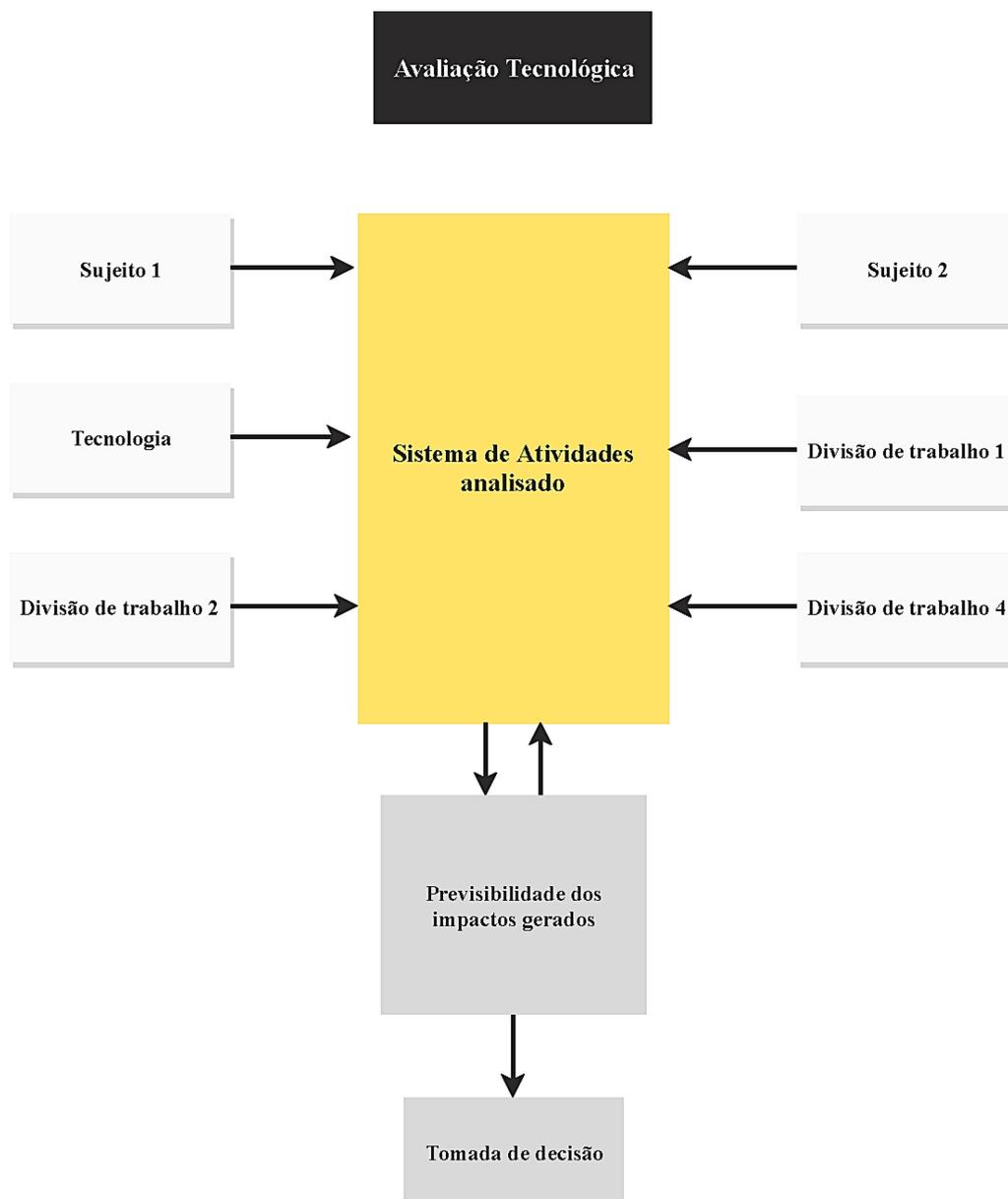
Os elementos do sistema CESM, serão as dimensões do modelo de AT, podendo ser todos eles ou alguns. As ligações entre os elementos (mecanismo) do CESM, são os campos de estudo que deverão ser analisados para valoração no fluxo informacional, podendo ser todos eles ou alguns.

A relação do elemento representativo do campo ferramentas com o restante do sistema, é a dimensão representada pela tecnologia, esta dimensão deverá aparecer obrigatoriamente entre as dimensões analisadas, por ser o meio através do qual o Sistema de Atividades em análise é realizado. Pela sua amplitude e importância para o sistema, sua saída para o fluxo informacional deve se dá a partir de uma visão macro, considerando o levantamento de cenários, e através do canvas, as principais ferramentas, e o objetivo da atividade.

Considerando que na Teoria da Atividade o elemento humano é indispensável, obrigatoriamente deverão existir dimensões representativas dos sujeitos da atividade analisada.

Na Figura 17 pode-se visualizar a representação conceitual de como é realizada a construção do modelo de AT adequado ao objeto de estudo. Como exemplo, não foi considerado o elemento representativo da Divisão de trabalho 3.

Figura 17 – Representação do modelo de Avaliação Tecnológica, forma conceitual.



Fonte: Elaboração própria.

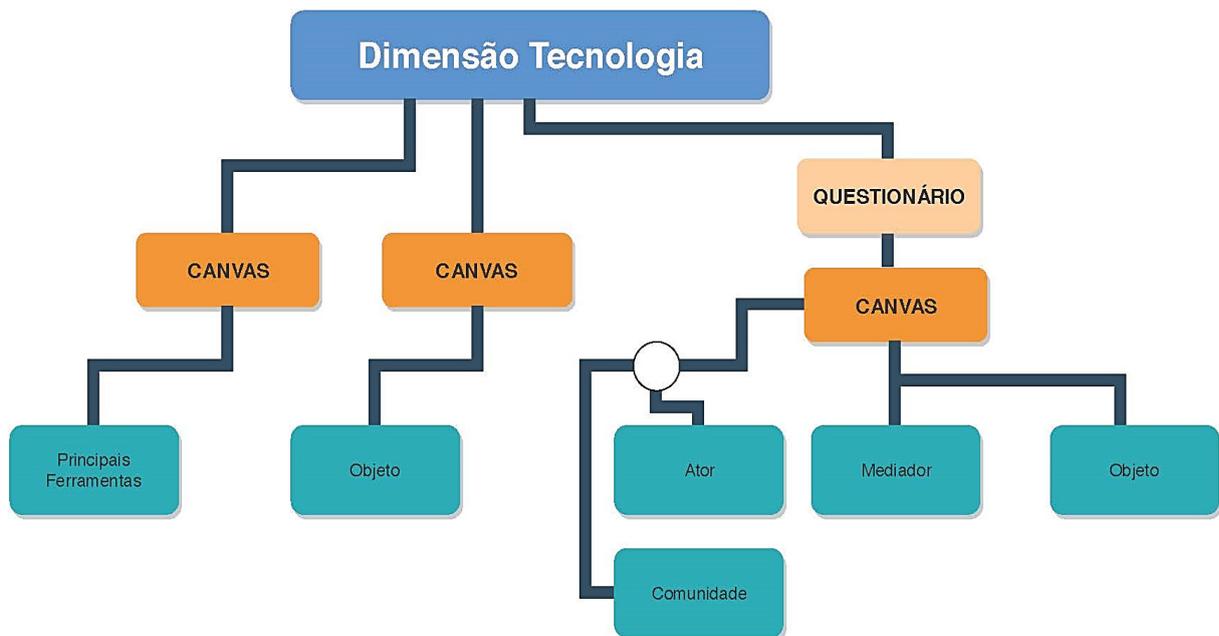
Para aplicação dentro de uma organização, sugere-se que as formas de se realizar medição para cada caixa informacional sejam descritas em documentos específicos, atribuindo para cada caixa, um relatório distinto, padronizando as respostas que deverão ser fornecidas no fluxo informacional, através de dados normalizados.

A seguir são descritas, de forma conceitual, as dimensões consideradas para este passo, sendo estas: tecnologia e sujeitos da atividade, dimensões obrigatórias para a análise, bem como, a dimensões que foram adotadas para o objeto de estudo, sendo estas, empresas privadas, sociedade e governo.

6.3.1 Dimensão Tecnologia

Devem ser consideradas as principais ferramentas descritas no canvas, considerando sua importância para o objeto da atividade, de acordo com os especialistas. Mais elaboração de perguntas relacionadas ao campo objeto, mais a construção de um questionário para o levantamento dos cenários de uso da tecnologia na atualidade. Desta forma, a pontuação final para a caixa tecnologia, é uma combinação destas três análises, conforme Figura 18.

Figura 18 – Dimensão tecnologia, dentro do modelo de AT.



Fonte: Elaboração própria.

A partir da análise do canvas, e utilizando o estágio 3 da metodologia de Mwanza (2001), faz-se necessário a decomposição do sistema de atividades, através da definição dos grupamentos. Para o estudo de caso, estes grupamentos são exibidos nos Quadros 13, 14 e 15. A partir do estágio 4 da metodologia de Mwanza (2001), também é possível elaborar um questionário para este Sistema de Atividades, objetivando realizar um levantamento do cenário dentro dos órgãos, considerando também os aspectos levantados nas revisões bibliográficas.

3) Estágio 3 - Decomposição do Sistema de Atividades da situação:

De acordo com Mello (2018), as perguntas, estágio de 4 da metodologia de Mwanza (2001), devem ser formuladas articulando atores, que podem ser: sujeito ou comunidade; mediadores, que podem ser: ferramentas, regras e regulações ou divisão de trabalho; e objeto da atividade. Para isto, faz-se necessário a decomposição do Sistema de Atividades, através da definição dos grupamentos. As questões são construídas, podendo seguir as composições: sujeito/ferramentas/objeto; sujeito/regras/objeto; sujeito/divisão de trabalho/objeto; comunidade/ferramentas/objeto; comunidade/regras/objeto; comunidade/divisão de trabalho/objeto. Para o estudo de caso, estas composições são exibidas no Quadro 16.

A comunidade se relaciona ao contexto social e cultural em que o sujeito executa sua atividade, listadas no canvas do Sistema de Atividades, campo ‘comunidade’. As perguntas são construídas utilizando os grupamentos, conforme Quadro 5.

4) Estágio 4 - Geração de questões de pesquisa:

A geração das questões deve seguir a estrutura abaixo, exibida no Quadro 5.

Quadro 5 – Estrutura para elaboração das questões.

Ator		Mediador		Objetivo
Sujeito	como usam →	Ferramenta	para conseguir→	Objeto
Sujeito	← como afetam	Regra	para conseguir→	Objeto
Sujeito	← como influenciam	Divisão de trabalho	para conseguir→	Objeto
Comunidade	← como afetam	Ferramenta	para conseguir→	Objeto
Comunidade	← quais afetam	Regra	para conseguir→	Objeto
Comunidade	← como afetam	Divisão de trabalho	para conseguir→	Objeto

Fonte: Extraído de Mello (2018).

A vantagem desta etapa é que podem ser feitas quantas perguntas o pesquisador entender serem necessárias, para melhor entendimento da atividade.

5) Estágios 5 e 6 - Condução de investigação detalhada e interpretação dos achados.

A partir da análise das entrevistas, deve-se verificar os cenários mais adequados para elaboração das questões de pesquisa, visando levantamento de dados para estes cenários. Portanto, conforme o Quadro 5, a partir do canvas, deve-se construir grupamentos informacionais para os sujeitos, comunidade, ferramentas, regras, divisão de trabalho, e objeto. Após estas construções, as perguntas são elaboradas seguindo a estrutura lógica do Quadro 5.

6.3.2 Dimensão Especialistas

Nesta etapa devem ser levantados dados para os cenários verificados na dimensão tecnologia, comparando estes com um cenário ideal, de acordo com os especialistas. Devem ser verificados, por exemplo, para cada cenário, qual o tipo de inovação; quais as necessidades para implantação; quais as limitações encontradas na atualidade para a sua implantação; quais as vantagens e desvantagens em sua implantação; entre outros. Após estas análises para cada cenário, devem ser escolhidas as principais questões que deverão ser solucionadas por um cenário ideal, de acordo com os especialistas, realizando uma comparação do cenário ideal com os cenários possíveis. Desta forma, pode-se fazer uma comparação objetiva, resultando em uma pontuação normalizada para cada cenário, em comparação a um sistema ideal.

6.3.3 Dimensão Usuários

A realização de uma tarefa utilizando um produto ou sistema, pode ser um desafio, e o que fará com que seja considerada fácil ou não, é a relação entre usuário e sistema. A usabilidade trata desta relação, sendo determinante para a satisfação do usuário sobre diversos produtos de consumo. Segundo a ABNT (2002), a usabilidade é definida como sendo a “medida na qual um produto pode ser usado por usuários específicos para alcançar objetivos específicos com eficácia, eficiência e satisfação em um contexto específico de uso.”

Para Shackel e Richardson (1991), a usabilidade é um fator para a aceitação de um produto, sendo a percepção do usuário com relação a este, existindo critérios para sua avaliação em função dos componentes: eficiência, aprendizado, flexibilidade e atitude.

Os estudos de conceitos de usabilidade e da experiência do usuário, do inglês, *User Experience* (UX), consiste em identificar possíveis impactos dessa composição, através da aplicação de métodos e técnicas que possibilitem mensurar a satisfação do usuário com relação a um produto, esta pesquisa pretende levar esta análise para o contexto de análise macro de AT.

Através das entrevistas aos especialistas, foi possível mapear quais seriam os produtos de consumo, denominados ferramentas, utilizadas para a realização do Sistema de Atividades, conforme quadro referente ao grupamento ‘ferramentas’ (Quadro 15). Dentre as ferramentas, as que se destinam aos usuários do sistema, são os rádios e acessórios destes, como carregadores de viagem e fones auriculares. Para esta pesquisa, a usabilidade foi avaliada nos rádios portáteis, sendo aqueles destinados a serem transportados e utilizados pelo sujeito ‘usuários’.

Para o caso de sistema LMR, utilizam-se rádios, que possuem características de apresentar uma *interface* exibida através de *display*, botões para acionamento do PTT e volume, além teclado alfanumérico. Alguns modelos também apresentam botão ‘Knob’, que permite, através do giro do botão, modificação de canal e volume. Para sistemas híbridos, LMR e LTE, além da utilização destes rádios, também se utilizam *smartphones*, com o uso de aplicativo específico que permite a integração da rede LMR com a rede LTE.

Para o caso de uma rede apenas LTE, utilizam-se rádios portáteis com diversas funcionalidades, que integram no mesmo aparelho, as funções de rádio e *smartphone*, podendo apresentar maior robustez do que um *smartphone* comum, alguns destes modelos são inclusive a prova d’água. Na rede LTE, utilizam-se também *smartphones*, com o uso dos mesmos aplicativos utilizados na rede híbrida.

Considerando que a usabilidade enfatiza a importância de entender objetivos e necessidades do usuário, para que a interação do usuário com estes produtos e sistemas seja satisfatória, faz-se necessário considerar a UX, e em função disto, realizar avaliações.

Diante disto, buscaram-se técnicas e métodos que viabilizassem a avaliação da usabilidade para os diferentes contextos de produtos e sistemas, descritos nos parágrafos anteriores. Os métodos empregados para avaliações de usabilidade podem ser baseados em usuários (empíricos) ou baseados em especialistas. Os baseados em usuários utilizam-se de observações e medidas sobre os usuários, a partir da execução de tarefas com o produto.

Nesta pesquisa, estas medições foram viabilizadas a partir da aplicação do protocolo pensar alto (*Think Aloud Protocol*) e questionário SUS, técnicas baseadas em usuários. Além dos conceitos de Jordan e avaliação heurística (*heuristic evaluation*) de Nielsen e Molich (1990), Nielsen (1994), que são métodos baseados em especialistas.

- **Protocolo pensar alto**

O protocolo pensar alto está entre os principais métodos aplicados entre os especialistas em usabilidade. É uma avaliação baseada em usuários, onde os participantes precisam verbalizar o que estão executando, pensando e sentindo, durante a execução da tarefa.

Com isto, pode-se ter a percepção sobre as *interfaces* dos produtos, contribuindo para a percepção com relação à usabilidade. Este método pode ser aplicado tanto individualmente, quanto em grupo (CATECATI et al., 2011).

O método pode ser desenvolvido em 2 estágios, através da coleta das declarações dos usuários e da análise destas declarações (JASPER, 2009). Desta forma, os usuários são incentivados pelo pesquisador a verbalizar as ações realizadas, decisões tomadas, e sentimentos,

enquanto interagem com a *interface* ou protótipo sob avaliação, através da execução de tarefas específicas ou da livre exploração destas *interfaces*.

- **Princípios de Jordan**

A abordagem definida por Jordan (1998), considera que a usabilidade deve ser baseada nas componentes: intuitividade, aprendizagem, desempenho do usuário com experiência, potencial do sistema, e reusabilidade.

A usabilidade não deve ser considerada de maneira isolada, sendo uma propriedade da interação entre o produto, o usuário, e a tarefa que ele está tentando executar, além do ambiente que o cerca. Dentro do contexto de usabilidade, a eficácia se refere à extensão na qual uma tarefa é realizada; eficiência é a quantidade de esforço necessário para realizar uma tarefa, menor esforço significa maior eficiência; e satisfação, que é o nível de conforto que os usuários sentem utilizando um produto, e também o nível de aceitação deste produto (JORDAN, 1998).

Os princípios de Jordan (1998) para indicar a usabilidade em uma *interface* são:

- 1) Consistência: projetar um produto de maneira que as tarefas similares sejam feitas de maneiras similares.
- 2) Compatibilidade: projetar um produto de maneira que seu método de operação seja compatível com a expectativa do usuário, baseado no conhecimento de outros tipos de produtos e do mundo real.
- 3) Considerações dos recursos dos usuários: deve-se considerar a demanda das habilidades do usuário, requeridas durante a interação.
- 4) *Feedback*: as ações realizadas pelo usuário devem ser reconhecidas e uma indicação significativa deve ser dada sobre os resultados dessas ações.
- 5) Prevenção e recuperação de erros: a probabilidade de erro deve ser minimizada e, sendo assim, se os erros realmente ocorrerem, que sejam recuperados de forma rápida e fácil.
- 6) Controle do usuário: o usuário deve ter o máximo controle de suas ações tomadas no produto.
- 7) Clareza visual: a informação apresentada deve ser lida de forma rápida e fácil, sem causar confusão.
- 8) Priorização de funcionalidade e informação: a funcionalidade e a informação mais importantes devem ser facilmente acessadas.
- 9) Transferência de tecnologia: deve-se usar adequadamente as tecnologias desenvolvidas para outros contextos, para aumentar a usabilidade do produto.

10) Clareza: o produto deve conter indícios de como ele funciona e como operá-lo.

- **Questionário SUS**

Esta técnica foi desenvolvida por Brooke (1996), devendo ser aplicado depois do teste de usabilidade, após o usuário ter realizado as tarefas definidas para o teste. Consiste em uma verificação mensurável de usabilidade de sistemas e produtos, contendo 10 perguntas em uma escala de 1 a 5, onde 1 significa ‘discordo completamente’ e 5 significa ‘concordo completamente’.

Quando um participante não responde a um item, este é considerado como uma resposta 3 (o centro da escala de classificação). Após a conclusão, é feita a correspondência de pontuação de cada item, fazendo com que os valores correspondentes das respostas variem de 0 a 4, onde 0 representa falha para completar e 4 representa completado com facilidade. Para o cálculo desta correspondência, considera-se:

- a) Para itens com formulação positiva (sentenças 1, 3, 5, 7 e 9), o valor correspondente será a pontuação assinalada no questionário subtraída de 1.
- b) Para itens com redação negativa (2, 4, 6, 8 e 10), o valor correspondente será a pontuação assinalada no questionário subtraída de 5, valor em módulo.

Desta forma, a soma das respostas pode variar de 0 a 40. Para que a soma das respostas varie de 0 a 100 é realizada a multiplicação da soma das contribuições dos itens por 2,5. Assim, as pontuações do SUS variam de 0 a 100.

Após análise do questionário SUS de todos os participantes, deve-se efetuar os cálculos necessários para a obtenção do resultado, tomando por referência o valor médio de 68 pontos no SUS SCORE, onde valores acima de 68 indicam que o sistema apresenta uma boa usabilidade, e valores abaixo de 50 indicam que o sistema apresenta usabilidade ruim. O questionário SUS, apresenta as sentenças descritas no Quadro 6.

Quadro 6 – Sentenças questionário SUS.

- | | |
|-----|---|
| 1) | Eu acho que gostaria de usar esse sistema com frequência; |
| 2) | Eu acho o sistema desnecessariamente complexo; |
| 3) | Eu achei o sistema fácil de usar; |
| 4) | Eu acho que precisaria de ajuda de uma pessoa com conhecimentos técnicos para usar o sistema; |
| 5) | Eu acho que as várias funções do sistema estão muito bem integradas; |
| 6) | Eu acho que o sistema apresenta muita inconsistência; |
| 7) | Eu imagino que as pessoas aprenderão como usar esse sistema rapidamente; |
| 8) | Eu achei o sistema atrapalhado de usar; |
| 9) | Eu me senti confiante ao usar o sistema; |
| 10) | Eu precisei aprender várias coisas novas antes de conseguir usar o sistema. |

Fonte: Elaboração própria, adaptado de Brooke (1996).

As respostas devem ser apresentadas já com valor final numa escala de 0 a 100, possibilitando comparação objetiva ao valor de referência da SUS *SCORE*, e saída de dados normalizados, para entrada em um sistema informacional de AT.

- **Avaliação heurística de Nielsen & Molich**

Nos anos 90, Jakob Nielsen e Rolf Molich, renomados consultores de usabilidade, estabeleceram uma lista de dez diretrizes de *design de interface*, sendo estas, as heurísticas de *interface* de usuário de Nielsen e Molich (1990), Nielsen (1994).

Esta avaliação heurística é um método de engenharia de usabilidade para encontrar problemas de usabilidade na *interface* de usuário. Essas heurísticas foram refletidas em muitos dos produtos projetados por grandes empresas como Apple, Google e Adobe.

Para a aplicação da avaliação heurística, são necessários avaliadores para utilizarem a *interface* e diagnosticar problemas. Em uma avaliação conduzida por Jakob Nielsen em 1992, os resultados mostraram que diferentes avaliadores identificaram diferentes números e tipos de problemas. Portanto, é recomendável que vários avaliadores sejam empregados em uma avaliação heurística, para garantir a maior taxa de detecção possível. Nielsen (1994) sugere que entre 3 e 5 avaliadores é um número ótimo para a avaliação, o que não impede que sejam utilizados menos ou mais avaliadores.

Recomendações para aplicação da avaliação heurística

Nielsen (1994) faz algumas recomendações para a aplicação da avaliação, elenca-se aqui algumas destas: o avaliador deve inspecionar a *interface* sozinho; somente após todos os avaliadores terem terminado suas inspeções, é que eles podem se comunicar para trocar informações e juntar as análises; as avaliações podem ser escritas ou verbalizadas para um observador; os avaliadores devem navegar pela *interface* pelo menos duas vezes, a primeira vez para entender de forma geral o sistema, a segunda, focando em elementos específicos da *interface*; os avaliadores devem utilizar a *interface* e inspecionar os elementos, comparando com os princípios de usabilidade descrito nas heurísticas.

O resultado da aplicação deste método, deve ser uma lista de problemas de usabilidade na *interface* inspecionada, com relação às heurísticas. Esta lista deve conter explicação dos problemas encontrados de forma clara e precisa, com associação das heurísticas que não estão sendo atendidas; de preferência, os problemas de usabilidade devem ser listados separadamente.

Recomenda-se que, previamente à avaliação, seja realizado um alinhamento de informações entre os especialistas que irão aplicar as heurísticas, como, por exemplo, o que são

elementos do tipo controle de entrada, encontrados nas *interfaces* de aplicativos, como o elemento *checkbox*, que permite ao usuário selecionar uma das opções na tela, ou até mesmo, botões que permitem selecionar data e hora. É importante que todos os avaliadores utilizem a mesma nomenclatura, para que exista uma padronização nas respostas que irão gerar um relatório único. Exemplos destes elementos podem ser encontrados em *Digital Communications Division in the U.S. Department of Health And Human Services* (HHS) (2018).

As dez heurísticas de interface de usuário

As dez regras de Nielsen (1994) e Nielsen e Molich (1990) são descritas abaixo:

- 1) Visibilidade do *status* do sistema (*feedback*): os usuários devem sempre ser informados das operações do sistema com um *status* fácil de entender e exibido na tela dentro de um tempo razoável.
- 2) Compatibilidade do sistema com o mundo real: a linguagem utilizada deve ser familiar ao usuário, através do uso de palavras e conceitos que os usuários encontrariam no mundo real. Apresentar informações em ordem lógica, atendendo as expectativas do usuário, derivadas de suas experiências no mundo real, reduzirá o desgaste cognitivo e tornará a *interface* mais fácil de utilizar.
- 3) Controle de usuário e liberdade: os usuários devem poder ter liberdade e controle em suas ações, sendo possíveis etapas posteriores, assim como, desfazer e refazer ações anteriores.
- 4) Consistência e padrões: os elementos gráficos e a terminologia devem ser mantidos em plataformas semelhantes. Por exemplo, um ícone que representa uma categoria ou conceito, não deve representar um conceito diferente, quando utilizado em uma tela diferente.
- 5) Prevenção de erros: sempre que possível, deve-se projetar sistemas para que os possíveis erros sejam mínimos. Os usuários não gostam de ser chamados para detectar e solucionar problemas, que ocasionalmente, podem estar além de seu nível de especialização. Eliminar ou sinalizar ações que podem resultar em erros, são meios possíveis para prevenção.
- 6) Reconhecer em lugar de lembrar: deve-se minimizar a carga cognitiva, mantendo informações relevantes para a tarefa dentro da exibição enquanto os usuários exploram a *interface*. A atenção humana e a memória de curto prazo são limitadas, por isto, deve-se garantir que os usuários possam empregar o reconhecimento em vez de recuperar informações em partes do diálogo.

- 7) Flexibilidade e eficiência de uso: os usuários devem ser capazes de personalizar ou adaptar a *interface* para atender às suas necessidades, de modo que, ações frequentes possam ser realizadas por meios mais convenientes, permitindo, desta forma, uma navegação mais rápida. Isto pode ser feito, por exemplo, pela configuração de teclas de atalho.
- 8) *Design* estético e minimalista: na exibição, deve haver apenas, os componentes necessários para as tarefas atuais, enquanto fornece meios visíveis e não ambíguos de navegação para outros conteúdos.
- 9) Ajudar os usuários a reconhecer, diagnosticar e corrigir erros: as mensagens de erro devem ser expressas em linguagem simples, indicando o erro e a solução, sem alarmar o usuário.
- 10) Ajuda e documentação: disponibilizar ajuda para o usuário, facilmente localizada, específica para a tarefa em questão, e redigida de maneira a guiá-los pelos passos necessários em direção a uma solução para o problema.

6.3.4 Dimensão Empresas Privadas

As empresas privadas possuem relação com a tecnologia estudada para desenvolvimento ou adoção, através da venda dos equipamentos e sistemas; suporte técnico e desenvolvimento de produtos e soluções; e através de alianças estratégicas firmadas com os órgãos públicos, dentro do ambiente de inovação.

Estas relações são regidas por Leis e Decretos, disposto em Brasil (1993b), Brasil (2005), Brasil (2004), Brasil (2018b). Portanto, as empresas privadas, além do fornecimento de bens e serviços, são atores dentro da tríplice hélice da inovação, que será descrita na dimensão governo.

Para uma tecnologia, deve ser avaliada a participação das empresas privadas em um contexto macro, como, por exemplo, quantas empresas podem fornecer a solução; quais países já adotam a solução oferecida; entre outros. A partir das entrevistas com os especialistas, foram desenvolvidas 8 questões, consideradas fundamentais, listadas abaixo, com suas respectivas pontuações:

- 1) Existe concorrência para a tecnologia? Sim=1; não= 0.
- 2) Quantos fabricam esta tecnologia? (1=0,2; 2=0,4; 3= 0,6; 4= 0,8), no caso de existirem 5 ou mais fabricantes, será atribuída a pontuação máxima que é 1.

- 3) Quantos órgãos utilizam no mundo? (1=0,2; 2=0,4; 3= 0,6; 4= 0,8) no caso de existirem 5 ou mais órgãos, será atribuída a pontuação máxima que é 1.
- 4) Possui fábrica no Brasil? Sim=1; não= 0.
- 5) Possui assistência técnica no Brasil? Sim=1; não=0.
- 6) Possui parceria de inovação com alguma universidade brasileira? Sim=1; não= 0.
- 7) Possui pesquisas em desenvolvimento para evolução da tecnologia? Sim=1; não=0.
- 8) Possui fornecimento de peças e serviços para os próximos 10 anos? Sim=1; não=0.

6.3.5 Dimensão Sociedade

Através da AT, os custos do crime devem ser considerados, utilizando dados que possam ser mensurados, analisando as particularidades das regiões, bem como, a heterogeneidade dos custos, como, por exemplo, por faixa etária; sexo; cor da pele; etc.

A partir disto, as tecnologias consideradas de possível uso pela segurança pública, devem ter um impacto direto ou indireto para o cidadão, visando a melhoria do bem-estar social. Portanto, apesar de, segundo Khan (1999), ser impossível de medir os crimes prevenidos, pode-se fazer uma projeção em como a implantação de determinada tecnologia poderá impactar na redução dos custos do crime na sociedade.

Para isto, devem ser considerados os custos necessários para implantação ou manutenção dos sistemas, comparando estes custos com o possível retorno para a sociedade do investimento realizado, através da redução dos custos do crime pelo uso da tecnologia.

Este trabalho focou no levantamento dos custos das redes para cada cenário, uma segunda etapa, é a comparação destes custos com a possível redução nos custos do crime na sociedade, com isto, pretende-se apontar qual a tecnologia produz um maior retorno para a sociedade, antes que os recursos públicos sejam utilizados.

Esta comparação é recomendada para estudos futuros, neste trabalho, foi apresentada uma revisão bibliográfica sobre os custos do crime, e serão apresentados os custos para cada cenário, realizado no Capítulo 7, referente ao estudo de caso.

6.3.6 Dimensão Governo

Em empresas com fins lucrativos, objetivos para inovação tecnológica, provavelmente serão aumento na receita e maior participação no mercado, já em entidades governamentais, inovar tem o objetivo de melhorar os serviços prestados aos cidadãos.

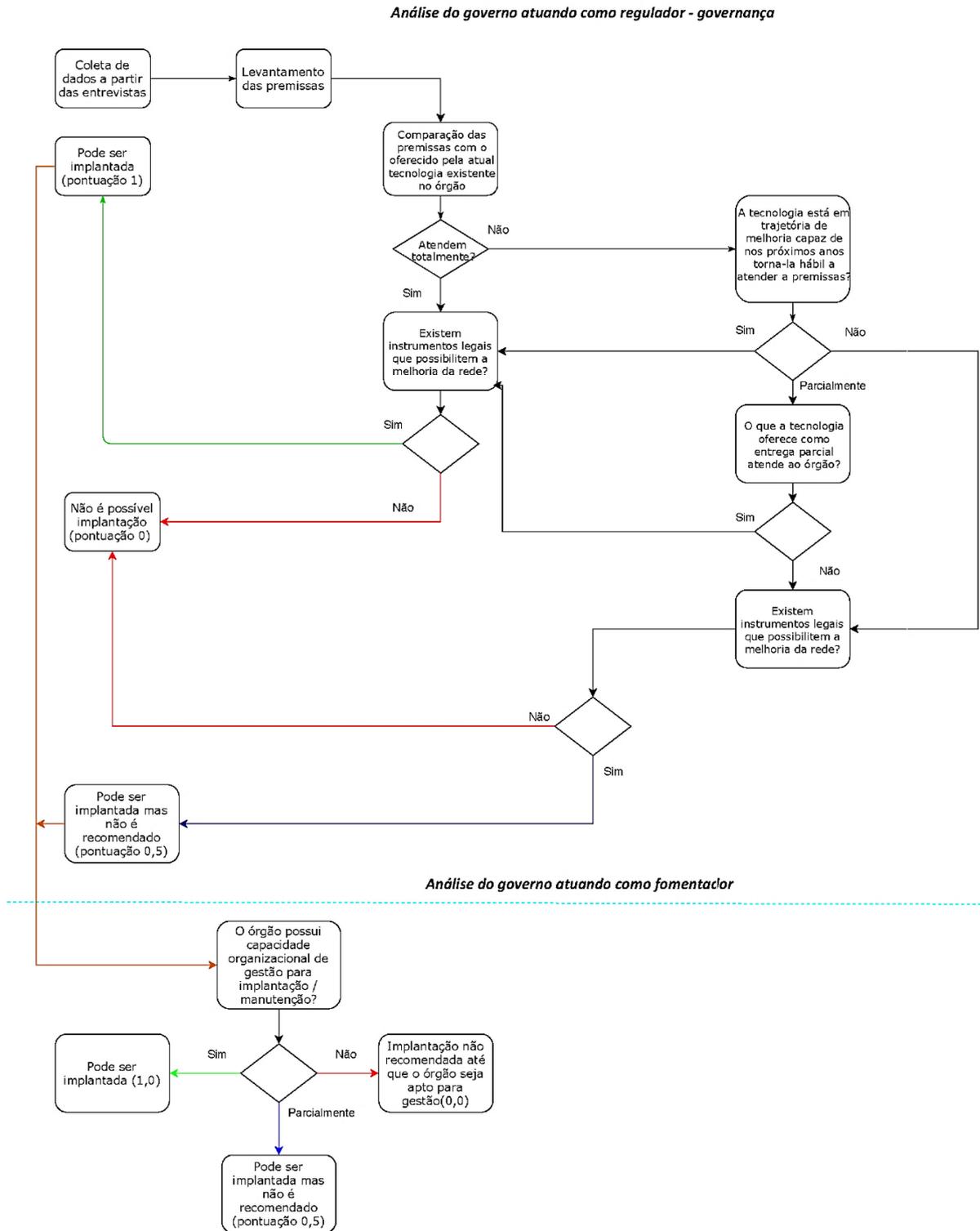
A tríplice hélice da inovação busca promoção do desenvolvimento econômico e social, através das indústrias; do governo como regulador e fomentador; e das universidades, como parceiros para o desenvolvimento da tecnologia. Nasce da interação entre diferentes instituições, no intuito da geração de novas estruturas em forma de rede, propícias para a inovação. Instituições estas sendo acadêmicas, industriais e governamentais. As interações entre os elementos das hélices são essenciais, as agências de governo, por exemplo, precisam legitimar a relação academia – indústria (LEYDESDORFF; ETZKOWITZ, 1996).

Esta medição é realizada através da capacidade de gestão de uma tecnologia, como também, pela governança, que é a prática da autoridade, controle, e administração, sendo a maneira pela qual o poder é exercido para a administração dos recursos sociais e econômicos de um país, e traduzida na capacidade de planejar, formular e implementar políticas públicas (DINIZ, 1995).

Foi utilizado o trabalho de Freire & Cândido (2019), que realizaram a proposição de um *framework* para criação de ambientes de inovação dentro dos órgãos de segurança pública no Brasil. Neste trabalho, as autoras apresentam um algoritmo para análise tanto da capacidade de gestão dos órgãos públicos, como da governança aplicada às tecnologias.

Esta análise se traduz no algoritmo apresentado na Figura 19, onde a pontuação máxima obtida para uma determinada tecnologia, no âmbito de um órgão público, é equivalente a dois, ou seja, dois representa 100% como saída da dimensão governo para entrada no fluxo informacional da AT para a tecnologia avaliada.

Figura 19 – Algoritmo para análise da dimensão governo.



Fonte: Extraído de Freire & Cândido (2019)

Desta forma, pode-se comparar tecnologias nesta dimensão, a partir de dados normalizados, tendo o valor 2 como resultado máximo da avaliação.

6.4 PASSO 5 - PROVAS DE CONCEITO PARA NOVAS TECNOLOGIAS

Qualquer nova infraestrutura nacional crítica deve, necessariamente, passar por testes cuidadosos e amplos, antes da decisão de aquisição e, até mesmo, após esta decisão, antes da entrada do sistema em operação.

Diante disto, em caso de novas tecnologias, ainda não completamente implementadas, podem ser aplicados questionários e PoCs. O objetivo da PoC é provar a viabilidade de um projeto ou conceito em escala reduzida. Geralmente PoCs são implementações de forma resumida e até mesmo incompletas, que antecedem a implantação real, onde são realizados vários testes que objetivam demonstrar a viabilidade do novo sistema ou produto.

A partir da análise das entrevistas com os especialistas, foi possível o mapeamento do Sistema de Atividades, com o melhor entendimento da atividade, busca-se realizar uma AT através da análise dos elementos mapeados. Para uma nova tecnologia, o objeto da atividade continua o mesmo, porém, as formas de analisar os elementos podem possuir alguma variação, em função da nova tecnologia possuir diferentes parâmetros de medição.

Desta forma, a aplicação da Teoria da Atividade, permite que esta pesquisa tenha foco no objeto do Sistema de Atividades, e este objeto é o mesmo, independente da tecnologia adotada. Portanto, o exercício de AT, busca identificar qual tecnologia, ou que modelo de uso da tecnologia, atende melhor o objeto do Sistema de Atividades. Podendo, inclusive, os dados da caixa tecnologia, serem coletados através de medições de diferentes parâmetros, em função de diferenças entre as tecnologias.

Para o estudo de novas tecnologias, faz-se necessário analisar PoCs já realizadas através de metodologias científicas, por isto, para esta etapa, faz-se necessário revisão de literatura sobre o tema. Caso não sejam encontradas parametrizações para PoC, deve-se verificar em outras comunidades que já tenham implantando as tecnologias avaliadas, qual a metodologia foi utilizada para validação, de preferência, com formas de implantação diferentes, para que a pesquisa possua dados mais abrangentes e com análise de diferentes cenários.

Após escolha das localidades de referência, deve-se estudar a melhor maneira de realizar o levantamento de cenário de uma tecnologia que ainda não está completamente implantada, e como realizar PoC nestas redes. O primeiro passo, é estudar sobre esta nova tecnologia, e sobre a forma de implantação destes sistemas, e suas principais diferenças e semelhanças com as tecnologias atuais, através de revisão bibliográfica e RSL, conforme capítulos 2, 3 e 4.

O segundo passo é analisar os dados obtidos, e caso não sejam encontradas metodologias já consolidadas, pode ser elaborada uma PoC para o objeto de estudo.

7 ESTUDO DE CASO: LEVANTAMENTO DE CUSTOS PARA OS CENÁRIOS

Atualmente o sistema TETRAPOL é o meio oficial de comunicação na PF. Para que este sistema opere normalmente, são necessárias manutenções e atualizações, sendo algumas destas atividades, de conhecimento específico do fabricante, com relação a *hardware* e *software*, bem como, através de soluções que envolvem o direito de propriedade industrial do Grupo *Airbus Defence and Space*, atualmente, único fabricante do equipamento TETRAPOL.

Algumas manutenções podem ser realizadas pelo corpo técnico do órgão, através dos servidores pertencentes ao cargo de Agente de Telecomunicações e Eletricidade (ATE). Contudo, o quadro de ATEs é insuficiente para realizar as atividades técnicas já desempenhadas nos Núcleos e Setores de Tecnologia da Informação (NTIs) e (STIs) dos estados, mais as atividades de manutenção do sistema em todo o Brasil. Atualmente existe no quadro funcional da PF apenas 112 ATEs, muitos destes, já próximos de se aposentarem.

Na atualidade, todas as Superintendências Regionais (SR), possuem equipamentos TETRAPOL, operando na faixa de frequência de 450MHz, possibilitando a utilização do sistema nos três modos de operação, necessários para sistemas de CC, sendo estes:

- Rede fixa, modo TMO, através de 98 ERBs, conectadas a 9 *control nodes*, interligados, provendo uma rede em todo território nacional, com funcionalidades como comunicação em grupo, chamada privativa, chamada de emergência, envio de mensagens de texto, criptografia fim-a-fim, entre outras, com capacidade de tráfego de até 8 canais de 12,5Khz por ERB, com potência máxima da ERB de 15 W.
- Rede tática, através da utilização de Repetidores Digitais Independentes (IDR), com utilização de apenas 1 canal, sem interligação com *control node* e sem as mesmas funcionalidades da rede fixa, contudo, com mesmo nível de segurança com relação à criptografia; potência máxima transmitida de 15 W.
- Modo direto ou ponto a ponto, DMO, onde um terminal se comunica diretamente com outro terminal, sem necessidade de ERB ou IDR, não possui as mesmas funcionalidades da rede fixa, contudo, possui o mesmo nível de segurança. O alcance é reduzido, pois, o rádio portátil, *Hand Terminal* (HT), emite potência máxima de 2 W e o rádio móvel de 10 W.

O projeto de implantação da radiocomunicação digital teve início em 2003, sendo que as instalações das ERBs e IDRs tiveram início em 2005. Desde então, foram compradas algumas peças de reposição de itens defeituosos ou em mau funcionamento, apenas para os

estados que sediaram a Copa das Confederações em 2013 e Copa do mundo em 2014. Mesmo para estes estados, os materiais comprados não correspondiam a totalidade necessária para garantir que a rede operasse em toda sua capacidade.

Estes processos referem-se à compra de peças, portanto, as peças compradas, foram aquelas possíveis de serem substituídas pelos ATEs dos estados, não envolvendo configurações que só podem ser realizadas pelo fabricante, devido ao conhecimento específico deste. As necessidades da atual rede foram verificadas junto aos setores técnicos ligados à Diretoria de Tecnologia da Informação e Inovação (DTI), nos 26 estados da federação e Distrito Federal.

A consulta foi realizada no Sistema Eletrônico de Informação (SEI), que é uma ferramenta de gestão de documentos e processos eletrônicos, desenvolvida pelo Tribunal Regional Federal da 4.^a Região (TRF4), e segundo o Ministério do Planejamento, Desenvolvimento e Gestão (2018), é utilizada por 114 órgãos da federação, além de outros 252 órgãos já estarem em vias de utilização.

Pelo levantamento de dados, verificou-se que, para o perfeito funcionamento da rede, também são necessários abrir novos processos de contratação para serviços, que não dependem exclusivamente da Airbus. São processos de extrema importância, como os listados abaixo, lista esta não exaustiva.

- Contratação de manutenção das estruturas verticais.
- Contratação de manutenção de contêineres que abrigam os equipamentos.
- Contratação de manutenção dos sistemas irradiantes.

Abaixo são elencadas as principais necessidades para que a rede atual opere em condições ótimas:

- Aumento do efetivo do quadro de técnicos responsáveis pela rede (ATEs).
- Serviços de manutenção preventiva e corretiva nos equipamentos TETRAPOL, sendo estes, ERBs, IDRs e centros de gerência de rádios.
- Atualização da versão de *software* dos aplicativos da rede TETRAPOL.
- Manutenção das instalações dos rádios móveis TETRAPOL, nas viaturas e das bases fixas, nos postos e delegacias, assim como, nas instalações de rádios móveis em outras viaturas, garantindo, desta forma, a confiabilidade e disponibilidade da ferramenta de comunicação para o desenvolvimento das atividades rotineiras dos policiais e servidores administrativos.

- Aquisição de baterias para os terminais portáteis de rádio, em virtude de as baterias atuais já terem ultrapassado o tempo de vida útil, inviabilizando a utilização do equipamento em operações policiais.
- Aquisição de acessórios dos tipos antenas e Kit Vips (fone auricular com PTT integrado) para os terminais de rádio portáteis, por vários estarem danificados devido ao tempo de uso.
- Aquisição de baterias para as ERBs e IDRs, em virtude de as baterias atuais já terem ultrapassado o tempo de vida útil, resultando em falta de autonomia em caso de falta de energia elétrica da concessionária.
- Manutenção nas estruturas verticais de responsabilidade do órgão.
- Manutenção dos contêineres.
- Manutenção do sistema irradiante, incluindo cabos coaxiais, antenas, duplexadores, protetores de surto, rabichos (*jumpers*) e suporte de antenas.

Para levantamento de preços, no intuito de tornar mais barata a solução, foi realizado o levantamento de equipamentos com defeito e estatísticas de falhas para cada componente do sistema, considerando ERBs, IDRs, rádios móveis e rádios portáteis.

O primeiro passo, foi verificar a quantidade total de componentes que o órgão possui, considerando todas as placas instaladas e as adquiridas nos processos para os estados que sediaram a Copa das Confederações e Copa do Mundo.

O segundo passo, foi verificar, desde a ativação do sistema até os dias atuais, a quantidade e tipo de componentes danificados, através de consultas as equipes técnicas de todos os estados e DF, pelo SEI. Após obtenção dos dados, foi limitado o número de componentes que poderiam ser realizadas manutenções corretivas, considerando placas já danificadas, somadas ao número de placas que poderiam vir a apresentar defeitos, de acordo com o histórico de falhas, e fazendo uma projeção para os próximos 2 anos.

Foram identificadas todas as placas das ERBs, IDRs e rádios, indicando quantas placas o órgão possui, considerando as compradas no projeto inicial, mais as adquiridas posteriormente. Desta forma, obteve-se o número limite de componentes que poderiam ser realizadas manutenções durante a vigência do contrato. Também foi descrito o número de instalações físicas dos rádios móveis, considerando o levantamento de falhas e a projeção para futuros defeitos. Abaixo, na Tabela 3, como exemplo, pode-se visualizar este levantamento para ERBs.

Tabela 3 – Placas das Estações Rádio Base (ERBs).

Item	Descrição	Quantidade por ERBs	Quantidade total considerando ERBs instaladas e aquisições posteriores	Número limite de placas para manutenção durante a vigência do contrato
1	PLACA LSB	1	98	5
2	PLACA TIFHON	2	235	20
3	PLACA DE ALIMENTAÇÃO DO BASTIDOR 48V/12V	2	218	10
4	PLACA SYNC	1	128	10
5	PLACA OSCILADORA OCXO	1	98	10
6	PLACA PA/TRX	4 em 94 8 em 4	431	50
7	PLACA MC-RS	2	196	10
8	PLACA MC-RF	2	196	10
9	PLACA MC-TX	1	98	5
10	CAVIDADE RESSONANTE PARA ERB	1 em 94 2 em 4	111	30
11	PLACA INTERFACE INTERCO	1	110	5
12	PLACA DE ALARME	1	98	5
13	VENTILADOR	2	196	35

Fonte: Elaboração própria.

A ideia para este levantamento de custo, é o contrato contemplar apenas manutenção e reparo de componentes, portanto, caso o dano na placa seja impossível de ser reparado e exija aquisição de nova peça, esta situação deverá ser informada pela contratada para o órgão, que avaliará o caso em questão.

Caso entenda que o componente considerado irreparável, seja indispensável para o funcionamento da rede, pode-se decidir pela aquisição de nova placa, de acordo com o preço previamente apresentado pela contratada, e nos limites estabelecidos pela contratante.

Caso o valor do reparo seja equivalente a um custo maior ou igual a 70% do valor de uma nova peça, a contratada deverá informar o motivo pelo qual o componente é considerado irreparável. Para estas situações, o órgão deverá analisar as informações fornecidas, procedendo as ações necessárias para baixa e descarte do equipamento, ou substituição do componente, caso entenda que este seja indispensável para a operação da rede, conforme descrito no parágrafo anterior.

Caso o órgão decida pela aquisição de nova placa, o limite estabelecido para peças que poderão ser adquiridas, equivale a 30% do número máximo de componentes que poderão ser realizadas manutenção.

O pagamento se dará apenas dos serviços realizados, por exemplo, no item 1 da Tabela 3, “Placa LSB”, está estabelecido o limite de 5 manutenções que poderão ser realizadas, isto equivale ao número máximo de placas LSB que poderão ser consertadas durante a vigência do contrato, considerando tanto as placas enviadas para conserto pela contratante, quanto aquelas diagnosticadas com defeito, durante a manutenção corretiva e/ou preventiva realizada pela contratada. Porém, se durante a vigência do contrato, for realizada manutenção em apenas 2 placas LSB, apenas estes 2 serviços serão pagos, e não os 5 orçados.

As quantidades de manutenções corretivas nas ERBs, durante a vigência do contrato, deverão ser limitadas, para viabilizar o orçamento por parte da empresa. Para este estudo de caso, para determinar qual seria o número ótimo de acionamentos, levou-se em consideração o número de ERBs por região, como também, o efetivo de ATEs nas localidades, que possam dar suporte técnico nas ERBs, ao invés de acionar a contratada. Este acionamento, por parte da contratante, para que a contratada realize manutenção corretiva, denomina-se bilhete.

7.1 IMPLANTAÇÃO DO CENÁRIO 1, MANUTENÇÃO E ATUALIZAÇÃO DA ATUAL REDE, TETRAPOL EM 450MHz

- **Principais vantagens:**

A aquisição dos serviços atenderia às necessidades do órgão para o perfeito funcionamento do sistema TETRAPOL em 450MHz, durante o período contratado, fazendo com que a rede de rádio opere em condições normais, possibilitando uma comunicação mais eficiente durante as atividades policiais. Sendo uma solução de fácil implementação, menor custo e atendimento imediato.

- **Principais desvantagens:**

Este órgão só possui licença de uso da faixa de frequência em 450MHz até o ano de 2023, conforme ato da ANATEL n.º 3460 de 08 de maio de 2018, portanto, mesmo que os equipamentos estejam em pleno funcionamento, de acordo com determinação da ANATEL, não poderão ser mais utilizados, devendo migrar para a faixa de frequência em 380MHz, ao qual o órgão possui licença de uso até 2033, de acordo com o ato da ANATEL n.º 4326 de 05 de junho de 2018, com possibilidade de prorrogação de prazo.

Em consulta ao fabricante sobre migração da rede TETRAPOL para a faixa de frequência em 380MHz, obtiveram-se as respostas de que todos os rádios deverão ser substituídos, sistemas irradiantes trocados, além de necessidade de substituição das IDRs e

placas das ERBs, apenas a estrutura dos gabinetes das ERBs é aproveitada, portanto, é o equivalente à compra de uma nova rede.

O fabricante também informou que, os equipamentos TETRAPOL instalados atualmente, apesar de possuírem plataforma IP, em virtude do ano de aquisição, entre 2003 e 2005, possuem *hardware* similar ao utilizado pela infraestrutura TDM, que será completamente descontinuado em 2020, portanto, o fabricante não mais fornecerá peças e serviços.

Com isto, conclui-se que, a atual rede em 450MHz, somente terá suporte do fabricante até 2020, e licença de uso até 2023. Portanto, qualquer investimento realizado neste sistema, deve considerar indubitavelmente, outra solução para outra faixa de frequência que a PF esteja autorizada a utilizar.

- **Preço estimado:**

Foi solicitado orçamento ao fabricante, para o contrato de inexigibilidade, de fornecimento exclusivo do fabricante de equipamentos TETRAPOL, o custo foi orçado para um contrato de 2 anos, considerando que **todos** os itens estimados sejam executados durante a vigência do contrato, portanto, este seria um valor máximo, incluindo bilhetes de acionamento de manutenção preventiva e corretiva em toda a rede.

Este preço não considera os outros contratos necessários, apenas peças e serviços de fornecimento exclusivo da Airbus, listados no Quadro 7.

Para resguardar as informações dos fabricantes, este trabalho não publicará os valores monetários dos orçamentos fornecidos, e sim, uma relação percentual de preços em comparação ao valor máximo orçado entre as soluções, sendo esta a aquisição de uma rede LTE com rede tática.

Foi considerado a taxa de R\$4,2 para 1 euro, e cambio de R\$ 3,75 para U\$1,00. Desta forma, para manutenção e atualização da atual rede TETRAPOL em 450MHz o **preço orçado é de 15,60%** em relação ao preço de aquisição de uma rede LTE com ERBs fixas e táticas.

Quadro 7 – Serviços necessários na contratação de manutenção da atual rede.

1	Manutenção e reparo de placas das ERBs
2	Manutenção e reparo das placas das IDRs
3	Assistência Técnica na ERB por bilhete de acionamento (5 dias da semana x 8h por dia)
4	Atualização da edição da versão de <i>software</i> (9 <i>Control Nodes</i>)
5	Relatório Técnico de Serviço Mensal
6	Manutenção Preventiva das ERBs
7	Otimização da rede através de ajustes de parâmetros lógicos
8	Manutenção dos Terminais Móveis, Fixos e Portáteis
9	Manutenção nas Instalações dos Terminais Móveis e Fixos
10	Aquisição de 1280 (um mil duzentos e oitenta) baterias para os terminais móveis modelo TPH 600, 400 (quatrocentas) baterias para os terminais móveis modelo TPH700 e 200 (duzentas) baterias para o modelo P2G

11	Aquisição de 500 (quinhentos) acessórios tipo clipe para Terminal Móvel TPH 700
12	Aquisição de 500 (quinhentos) acessórios tipo antenas para os terminais móveis para os terminais móveis modelo TPH600
13	Aquisição de 800 (oitocentos) acessórios para terminais móveis modelo TPH700, entre estes, 500 (quinhentos) acessórios auriculares KIT VIP e 300 (trezentos) do modelo tipo pera.
14	Aquisição de banco de baterias para todas as ERBs
15	Aquisição de 213 (duzentos e treze) baterias para as Repetidoras (IDRs) para serem substituídas durante a manutenção corretiva das IDRs.
16	Manutenção corretivas das IDRs
17	Instalação de 475 (quatrocentos e setenta e cinco) rádios móveis em viaturas.

Fonte: Elaboração própria.

Devido ao alto custo para esta manutenção ideal, também foi verificado qual seria o mínimo de serviços que deveriam ser realizados, para garantir funcionamento da rede em condições normais, pelo menos nos estados sede da Copa América em 2019.

O preço orçado também é referente apenas ao contrato de inexigibilidade para 100% do contrato executado, ou seja, valor máximo que poderia alcançar, para o período de 1 ano, sem bilhetes de acionamento de manutenção preventiva, com bilhetes de manutenção corretiva reduzidos, e quantidades de componentes que poderiam ser reparados e adquiridos também reduzidos, ou seja, parte do Quadro 7 exibido acima.

Preço orçado: 5,9% em relação ao preço de aquisição de uma rede LTE com ERBs fixas e táticas.

7.1.1 Manutenção dos sistemas irradiantes

Além das componentes elétricos e eletrônicos das ERBs, também devem ser realizadas manutenções preventivas no sistema irradiante, compreendendo a verificação de todos os elementos de Rádio Frequência (RF), sendo estes: antenas, *jumpers*, conectores, protetores de surto, cabos coaxiais, abraçadeiras e suportes de antenas.

Nesta verificação deve estar inclusa, no mínimo, as seguintes atividades: realização de testes de relação de onda estacionária (ROE), do inglês, *Standing Wave Ratio* (SWR), através da medição do *Voltage Standing Wave Ratio* (VSWR); alinhamento de antenas com verificação da inclinação (*downtilt*) e azimute dos setores da ERB, comparados com o projeto.

Devem ser apresentados relatórios descritivos com todas as atividades realizadas, contemplando telas de leitura dos VSWRs, e *Distance To Fault* (DTF) a partir do conector de saída de transmissão da ERB até antena, englobando, desta forma, cabos, protetores de surto, *jumpers*, conectores, duplexadores e antenas.

Registro fotográfico com fotos panorâmicas (360°) na altura das antenas; além de fotos das: antenas, mostrando o código dos modelos e leitura do clinômetro digital, para verificação do *downtilt*; conectores; duplexadores, mostrando o código dos modelos; *jumpers*; protetores de surto, mostrando o código dos modelos, fotos dos suportes e instalações.

A manutenção corretiva do sistema irradiante consiste nas atividades descritas anteriormente para a manutenção preventiva, com eventuais correções no que for possível de ser corrigido, sem instalações e/ou substituições de novos componentes.

As atividades possíveis de serem realizadas são as seguintes: apertos de parafusos e conectores; correção de azimutes, elevações e inclinações das antenas dos setores, desde que não exijam alteração das localizações dos suportes, caso seja necessária modificação, esta necessidade deverá ser analisada pela contratante no local. Também são contempladas quaisquer outras atividades, que não exijam instalações e/ou substituições de novos componentes.

A manutenção corretiva no sistema irradiante deve ser executada sempre que ocorrer qualquer evento que demande intervenção técnica, para sanar alguma anormalidade que possa comprometer o funcionamento do sistema. Destina-se a sanar defeitos, vícios ou falhas do sistema irradiante das estações, tais como: ruptura de cabos coaxiais; conectores e cabos danificados; deformações mecânicas e elétricas nas antenas; duplexadores danificados; protetor de surto danificado; e outros componentes que possam afetar o perfeito funcionamento do sistema, acarretando perda de cobertura, diminuição da qualidade de sinal recebido, redução da potência efetivamente irradiada, entre outros.

Os itens descritos no Quadro 8, pertencentes ao sistema irradiante, não são passíveis de manutenção, devido ao comportamento da onda eletromagnética quando propagada através de componentes que não apresentem as características ideais mecânicas e elétricas para aquele comprimento de onda, podendo ocasionar, inclusive, reflexão do sinal transmitido, o que poderia queimar o transmissor da ERB.

No caso de dano no suporte da antena, este componente também não é passível de manutenção, devido ao arrasto que está submetido quando instalado na torre. Portanto, corrosões e outros defeitos que comprometam a integridade do suporte, não devem ser reparados, pois, caso o suporte se desprenda da torre, pode atingir bens materiais e pessoas que estiverem próximas à estrutura metálica, ocasionando danos ao patrimônio de terceiros, ou até mesmo, colocando a vida das pessoas em risco.

Quadro 8 – Componentes do sistema irradiante e limite de manutenção.

Componente	Modelo	Total instalado	Limite Máximo para troca
Antena	741 515 Kathrein Diretiva	7 setores x 2 antenas por setor = 14	2
Antena	741 516 Kathrein Diretiva	73 setores x 2 antenas por setor = 146	7
Antena	741 518 Kathrein Diretiva	38 x 2 antenas por setor = 76	4
Antena	742 155 Kathrein Omnidirecional	15 x 3 antenas por setor = 45	3
Antena	720 880 Kathrein Omnidirecional	5 x 3 antenas por setor = 10	1
Antena	720 842 Kathrein Omnidirecional	7 x 3 antenas por setor = 21	2
Antena	731291 Kathrein Diretiva	1 setor x 3 antenas por setor	1
Cabo coaxial	7/8"	Aproximadamente 14.000m	1.000m
Cabo Coaxial	1 5/8"	Aproximadamente 2.000m	300m
Conector	7-16 Macho para cabo 7/8"	279	28
Conector	7-16 Fêmea para cabo 7/8"	279	28
Conector	7-16 Macho para cabo 1 5/8"	15	3
Conector	7-16 Fêmea para cabo 1 5/8"	15	3
<i>Jumper</i>	3m 1/2" Ponta A – conector Tipo 7-16 Macho, Ponta B – conector Tipo N Macho	279	28
<i>Jumper</i>	1,5m 1/2" Ponta A – conector Tipo 7-16 Macho, Ponta B – conector Tipo 7-16 Macho	555	55
<i>Jumper</i>	6m 1/2" Ponta A – conector Tipo 7-16 Macho, Ponta B – conector Tipo 7-16 Macho	81	8
Protetor de Surto (<i>Lightning Arrester</i>)	ANDREW APG-BDFDF-350	3 por estação total 279	28
<i>Splitter</i>	K 63 20 22 7 Kathrein	3 por estação com 2 setores totalizando 159	8
Suporte para antenas	Suporte para antena, incluindo base do suporte, fixação, abraçadeiras, kit de <i>downtilt</i> , parafusos, e outros componentes mecânicos que fazem parte do sistema utilizado para fixar a antena na estrutura vertical.	251 antenas diretivas e 81 antenas omnidirecionais, totalizando 332 antenas instaladas	25 suportes para antenas diretivas e 8 para antenas omnidirecionais

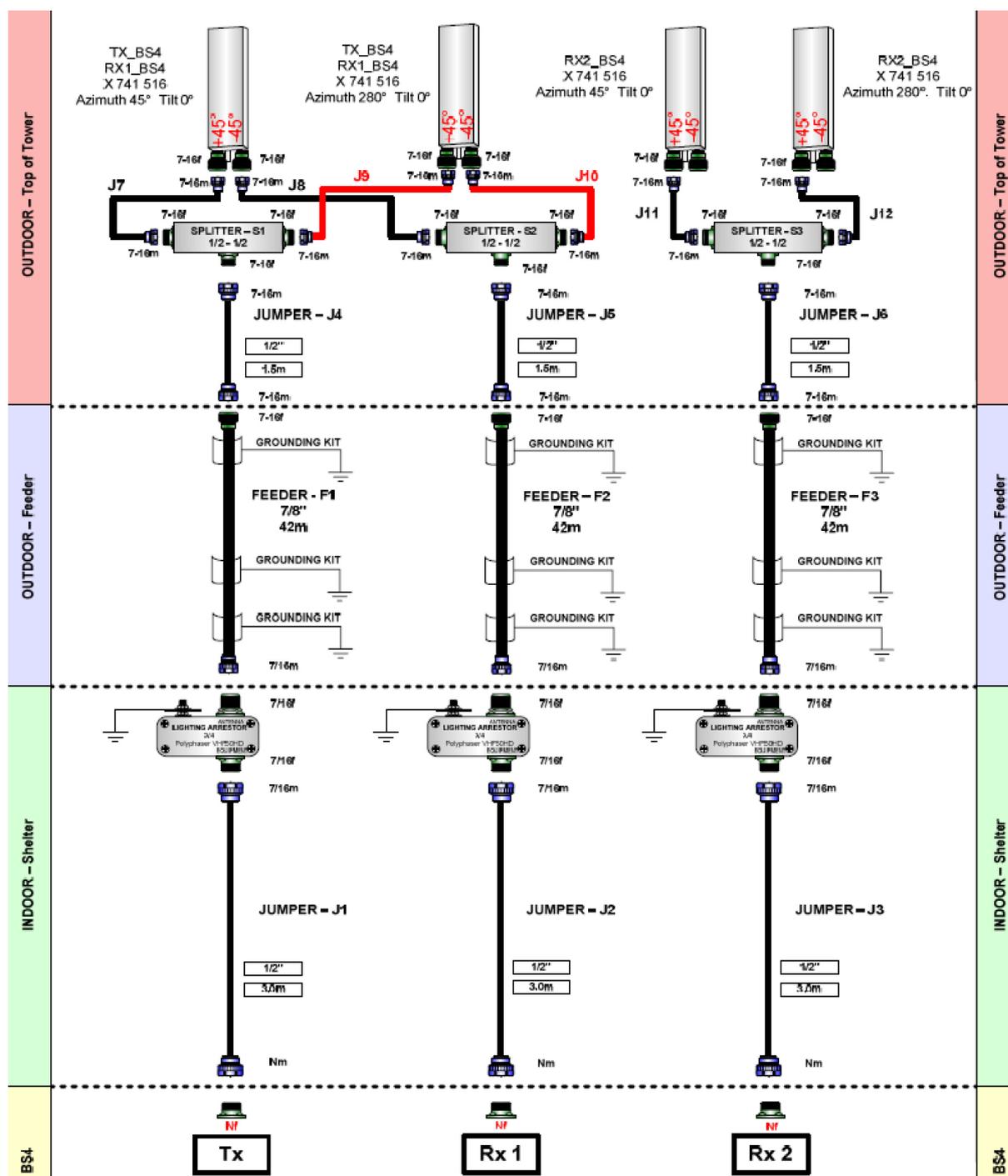
Fonte: Elaboração própria

Logo, se durante a execução das atividades de manutenção preditiva e corretiva dos sistemas irradiantes, for verificado que existe algum dos componentes listados no Quadro 8 danificados, deverá ser realizada a substituição do componente, dentro do limite descrito por item. O quantitativo de componentes foi verificado analisando os estudos de rádio engenharia das estações, e as especificações das instalações dos sistemas irradiantes. O limite de componentes para substituição foi estimado através de levantamento da situação atual, junto aos setores técnicos, como também, considerando-se que parte destes componentes apresentem defeitos, devido ao tempo de uso, desgastes mecânicos e por intempéries.

A Figura 20 exemplifica como são descritos o quantitativo de componentes do sistema irradiante por ERB, trata-se de uma estação na região metropolitana de Recife-PE, que possui

2 setores, cada setor com 2 antenas do mesmo modelo, com espaçamento entre elas, devido à diversidade espacial utilizada para melhoria do *uplink*, totalizando 4 antenas por estação. Para o levantamento do quantitativo de componentes do sistema irradiante de toda a rede, dados exibidos no Quadro 8, foram analisados os projetos de todas as ERBs instaladas.

Figura 20 – Configuração do sistema irradiante, estação PE01.



Fonte: Dados do projeto de radioengenharia da estação PE01.

A manutenção corretiva deve ser executada sempre que ocorrer qualquer evento que demande intervenção técnica, para sanar alguma anormalidade que possa comprometer o funcionamento do sistema.

Com relação à manutenção preventiva, deverão ser realizadas em todas as ERBs, para levantamento do diagnóstico da rede, e escalonamento para manutenção corretiva onde for necessário. O diagnóstico de quais estações necessitam de manutenção preventiva e corretiva, assim como, cronograma de atendimento, deve ser de responsabilidade do Setor Técnico Operacional (STO) do órgão público, contratante do serviço, como também, acompanhamento técnico dos serviços executados e aceitação das atividades para pagamento da contratada.

Além das manutenções corretivas necessárias, este estudo também recomenda que sejam realizadas manutenções preventivas nos sistemas irradiantes de todas as ERBs, pelo menos uma vez por ano.

As atividades que necessitem subir na torre, somente deverão ser realizadas por pessoal especializado, com experiência e certificação para trabalhos em alturas para torres de telecomunicações, obedecendo às normas de segurança do trabalho.

7.1.2 Manutenção dos contêineres

As atividades que deverão ser realizadas devem ser baseadas na documentação técnica fornecida pelo fabricante do contêiner. Estas atividades somente deverão ser realizadas por pessoal especializado, com experiência em fontes de alimentação em corrente contínua para telecomunicações e sistemas de energia em baixa tensão. Tensões perigosas estão presentes no equipamento (até 400Vac) e podem causar acidentes graves, caso as normas de segurança não sejam respeitadas.

Para o estudo de caso, o detalhamento das ferramentas necessárias para os técnicos, assim como, testes e atividades de manutenção que deverão ser realizadas nos contêineres, estão disponíveis na documentação técnica fornecida pelo fabricante para contêiner modelos NTMB4020227/1 SHELTER GF 220V 2TR EADS 3,5x2,5x3 metros; NTMB4020227/2 SHELTER GF 380V 3TR EADS 3,5x2,5x3 metros; NTMB4020227/3 SHELTER GF 380V 2TR EADS 3,5x2,5x3 metros, disponível na base de dados do órgão público.

Ao todo são 11 contêineres, instalados nas regiões metropolitanas de Brasília, São Paulo, Rio de Janeiro, e Rio Grande do Sul. Após a realização dos testes, deverá ser realizado um relatório detalhado dos defeitos apresentados em cada contêiner e tipo de manutenção realizada para solucionar os problemas encontrados. Ao final do contrato, todos os contêineres

deverão estar em pleno funcionamento, com todos os testes listados na documentação técnica realizados, sem apresentação de defeitos.

O contrato deve contemplar apenas manutenção e reparo, portanto, caso o dano em algum dos componentes, ou na própria estrutura física do contêiner, seja impossível de ser reparado, e exija aquisição de nova peça, esta situação deverá ser informada pela contratante para a contratada, que irá avaliar o caso em questão. O cronograma de atendimento, deve ser de responsabilidade do STO do órgão, como também, acompanhamento técnico dos serviços executados, e aceitação das atividades para pagamento da contratada.

As atividades exigem testes e possíveis reparos em instalações elétricas, termostatos, umidostatos, *Lead Lag* e ar condicionados, sistema de exaustão, sistema de incêndio e quadro de alarmes, portanto, a empresa contratada deverá estar apta para realizar manutenção corretiva e preventiva em todos estes itens.

7.1.3 Manutenção das estruturas verticais

Deverão ser realizadas: revisão das conexões mecânicas de toda a torre (parafusos, rebites, etc.), com reparo nas instalações caso necessário; revisão dos acessórios constantes nas torres tais como calhas, esteiramento vertical, esteiramento horizontal, plataformas de trabalho internas, plataformas de descanso, escada marinheiro, guarda-corpo, suporte de antenas e cabo guia (trava quedas), com reparo nas instalações. Revisão do para-raios e aterramento da torre, com verificação das conexões e descidas do aterramento desde do para-raios até a base da torre e desta até o ponto de aterramento, com realização de medições, comparando os valores medidos com os das normas vigentes para este tipo de instalação.

Verificação se a estrutura vertical e a fundação continuam em condições de uso, sem apresentação de riscos que comprometam a segurança da estrutura, caso alguma torre apresente algum risco, este caso deverá ser relatado para o órgão, que analisará o caso em questão, podendo, caso entenda que a situação concreta exija uma atuação mais específica, realizar aditivo na contratação, de acordo com os termos da lei 8.666, Brasil (1993b), para execução do serviço adicional dentro do objeto da contratação, como, por exemplo, reforço estrutural da estrutura vertical. A manutenção também deve contemplar pintura em padrão laranja e branco, e troca de luz de balizamento, caso necessário.

A localização, tipo de estrutura, altura e parâmetros de vento das torres, estão descritos no Quadro 9.

Quadro 9 – Dados das torres.

Item	Localidade	Tipo De Estrutura	Altura Total (m)	Parâmetros De Vento ***			
				S1	S2	S3	V0 (M/S)
1	MANAUS	AUTOPORTANTE TRIANGULAR	66	1	CATEGORIA II CLASSE C	1.1	30
2	MANAUS	POSTE MONOTUBULAR	40	1	CATEGORIA I CLASSE B	1.1	30
3	CUIABÁ	POSTE MONOTUBULAR	30	1	CATEGORIA III CLASSE B	1.1	35
4	CUIABÁ – TOPO DE PRÉDIO	ROOF TOP (MASTRO 3X)	10	1	CATEGORIA III CLASSE A	1.1	35
5	CAMPO GRANDE	ROOF TOP (MASTRO 3X)	9	1	CATEGORIA III CLASSE B	1.1	45
6	PORTO ALEGRE	POSTE MONOTUBULAR	30	1,17**	CATEGORIA III CLASSE B	1.1	50
7	PORTO ALEGRE	POSTE MONOTUBULAR	20	1,57**	CATEGORIA III CLASSE A	1.1	50
8	PORTO ALEGRE*	AUTOPORTANTE TRIANGULAR	40	1	CATEGORIA III CLASSE B	1.1	50
9	CURITIBA	AUTOPORTANTE TRIANGULAR	60	1	CATEGORIA IV CLASSE C	1.1	45
10	FLORIANÓPOLIS	POSTE MONOTUBULAR	20	1,55**	CATEGORIA III CLASSE A	1.1	45
11	RECIFE	ROOF TOP (CAVALETE)	8	-	-	-	-

* CONDICIONADO AO LAUDO ESTRUTURAL DA ESTRUTURA EXISTENTE.

** VALOR MÁXIMO NA COTA DE IMPLANTAÇÃO DA ESTRUTURA

*** CALCULADOS CONFORME NBR 6123 E VISITAS IN LOCO.

Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados de projeto.

Desta forma, deve ser previsto manutenção nas estruturas descritas no quadro acima.

7.2 IMPLANTAÇÃO DO CENÁRIO 2: ATUALIZAÇÃO DA REDE TETRAPOL EM 450MHz (HÍBRIDA COM LTE)

Caso se pretenda utilizar uma solução híbrida, ainda na rede em 450MHz, pode-se, durante a atualização da edição da versão instalada, previsto no contrato de manutenção detalhado no item anterior, acrescentar o fornecimento da interoperabilidade do TETRAPOL com o LTE. Com fornecimento de licença para usuários de *smartphones* utilizarem o LTE com viabilidade de interoperabilidade com o TETRAPOL, através do Agnet, mais o servidor do aplicativo. Para 300 licenças, isto representaria um acréscimo financeiro equivalente a **0,72%** com relação ao preço de aquisição de uma rede LTE com ERBs fixas e táticas, totalizando:

- **Custo: Acréscimo de 16,31% no contrato de manutenção total;**
- **Custo: Acréscimo de 6,62% no contrato de manutenção reduzido.**

7.3 IMPLANTAÇÃO DO CENÁRIO 2: MIGRAÇÃO DA REDE TETRAPOL PARA 380MHz (HÍBRIDA COM LTE)

A proposta consiste em 3 fases divididas em 3 anos. As escolhas dos estados para cada fase, consideraram critérios de: necessidade, em virtude do número de equipamentos defeituosos; estados que sediarão a Copa América; logística; entre outros.

- **Principais vantagens:**

Todos os estados tiveram queixas similares com relação a grande parte dos rádios portáteis, HT, estarem danificados, assim como, os acessórios auriculares destes rádios, denominados Kit Vips. As baterias dos HTs também não funcionam com a autonomia esperada, pois, já ultrapassaram o tempo de vida útil. Vários componentes das ERBs e IDRs também estão danificados, o que resulta em não operação de parte destes equipamentos, ou operação com recursos limitados.

Outra reclamação frequente por parte dos usuários, é com relação ao conector do Kit Vip ao HT. Os policiais preferem utilizar o rádio modelo TPH 700, em virtude do conector do Kit Vip, pois, no modelo de rádio TPH 600, o kit Vip se desconecta com muita facilidade e sem alertar que está desconectado, desta forma, o policial fica sem receber comunicação.

A migração da rede para 380MHz, em virtude da substituição dos equipamentos, proporcionaria para todas as localidades os seguintes itens:

- Retorno a completa operação da rede em curto espaço de tempo, com o pleno funcionamento das ERBs e IDRs.
- Com o aproveitamento do gabinete das ERBs, a migração seria feita com o mínimo de movimentação, podendo ser necessária manutenção do gabinete.
- A questão da falta de rádios e kits Vips, devido a vários destes *hardwares* estarem danificados, seria resolvida com equipamentos novos.
- Com relação ao conector do Kit Vip, o modelo de rádio que seria adquirido é o TPH 900, cujo conector é similar ao do TPH 700, com a segurança necessária para não desconectar facilmente.
- A migração para 380MHz proporcionaria a instalação de novos equipamentos para as ERBs, novas IDRs, novos Kits Vips, novas máquinas para gerenciamento da rede e configuração dos terminais, além de novos terminais móveis e portáteis, todos os equipamentos com garantia de 2 anos. Oferecendo disponibilidade para os usuários da rede e cobertura da fábrica, em caso de quebra dos equipamentos, reduzindo os custos de manutenção.

- Substituição de todas as antenas e suportes existentes atualmente.
- Verificação de todos os conectores, *jumpers* e cabos coaxiais, com substituição dos que apresentarem desempenho abaixo do recomendado pelas documentações técnicas, ou seja, $VSWR \geq 1.5$.
- Substituição de todos os protetores de surto e duplexadores de sinal (componentes do sistema irradiante), que estiverem fora das especificações para a nova faixa de frequência em 380MHz, ou forem indicados, através da medição do VSWR e *Distance To Fault*, como defeituosos.
- A migração para a rede 380MHz também ocorreria com a integração com a rede LTE (via operadoras de telefonia celular), com a versão do TETRAPOL IP21, que viabilizaria que as operações policiais ocorressem com o uso de imagens em tempo real; transmissão de dados, através da utilização de *smartphones* na rede LTE; e outras aplicações viabilizadas através de uma rede LTE. A integração com a rede TETRAPOL ocorre ao nível de voz, através da utilização do Agnet, instalado nos *smartphones*. Todos os *smartphones* com este aplicativo instalado, podem utilizar grupos de comunicação integrados a rede TETRAPOL, como também, compartilhar dados, imagens e geolocalização entre eles.
- A versão IP21 do TETRAPOL permite a utilização de transmissão síncrona (*simulcast*), fazendo com que o conjunto várias ERBs operem com um único conjunto de frequências, como se fosse uma única célula com cobertura ampliada, evitando a reSeleção constante do HT.
- As novas IDRs *evolution* possuem 2 canais, e conexão com o *control node*, além de georreferenciamento dos terminais. A conexão com *control node*, possibilita que os terminais abaixo da área de cobertura de uma IDR, tenham as mesmas funcionalidades disponíveis na rede fixa, como chamadas em grupo e envio de mensagens de texto.
- A implantação da IDR *evolution* viabilizaria a utilização de grupos de comunicação, não sendo mais necessário o policial modificar o canal de operação da rede durante o uso da rede tática. Além de geolocalização dos terminais móveis e portáteis, gerenciamento remoto da rede e não necessidade da instalação de *gateway* (Gatepro), para interligar IDRs. Com isto, a quantidade de torres com equipamentos TETRAPOL instalados reduziria consideravelmente, no estado de Pernambuco, por exemplo, a redução seria de

21 para 15 locais. Além de não ser mais necessário deslocamento da equipe técnica para locais tão distantes, apenas para verificar se as repetidoras estão em operação, pois, seria possível realizar gerenciamento remoto.

- Licença de uso da faixa de frequência em 380MHz até 2033, com possibilidade de prorrogação.
- Suporte da fábrica para equipamentos TETRAPOL IP21 até 2035, com possibilidade de atualização para novas versões.
- Instalação de plataforma de geolocalização (AVL) para rádios móveis e portáteis.
- Equipamentos para AVL, com licença para 1.500 rádios, fornecidos na fase 1.
- Equipamentos e licenças para Agnet, fornecidos na fase 1.

Além disto, o sistema TETRAPOL é o único que possui segurança em toda a rede, através de criptografia fim a fim inerente ao sistema, em todas as *interfaces*, entre os UEs e as ERBs e entre as ERBs e os CNs. Para os sistemas APCO25 e TETRA, esta funcionalidade não é inerente ao padrão, apenas a criptografia até a ERB é exigida pela padronização. Contudo, os fornecedores destas tecnologias oferecem esta funcionalidade como algo adicional ao sistema, podendo, desta forma, ser adquirido.

- **Principais desvantagens:**

Custo para migração da rede, estimado em **79,39%** com relação ao preço de aquisição de uma rede LTE com ERBs fixas e táticas.

Fase 1 - migração

Migração para 380MHz dos estados de São Paulo (SP), Ceará (CE), Pernambuco (PE), Rio Grande do Norte (RN) e o Distrito Federal (DF), totalizando 35 ERBs.

Fase 1 - manutenção

Manutenção das redes em 450MHz em Minas Gerais (MG), Rio de Janeiro (RJ), Rio Grande do Sul (RS) e Bahia (BA), com utilização dos equipamentos remanescentes de SP, CE, PE, RN e DF. Com isto, os estados sede da Copa América em 2019, estariam em pleno funcionamento para receber o evento. Suporte técnico dos novos equipamentos, cobertos pela garantia nos estados de SP, CE, PE, RN e DF.

Fase 2 - migração

Migração para 380MHz dos estados de RJ, Goiás (GO), Paraná (PR), MG, Pará (PA), Amapá (AM), Maranhão (MA), Piauí (PI), Amazonas (AM), Roraima (RR) e Tocantins (TO), totalizando 40 ERBs.

Fase 2 - manutenção

Suporte técnico dos novos equipamentos, cobertos pela garantia nos estados de SP, CE, PE, RN, DF, GO, PR, PA, AM, MA, PI, AM, RR e TO. Manutenção das redes 450MHz no RJ, RS e BA, com utilização dos equipamentos remanescentes das ERBs já migradas.

Fase 3 - migração

Migração para 380MHz dos estados de Paraíba (PB), Alagoas (AL), Sergipe (SE), BA, Espírito Santo (ES), Acre (AC), Rondônia (RN), Mato Grosso (MT), Mato Grosso do Sul (MS), Santa Catarina (SC) e RS.

Fase 3 - manutenção

Suporte técnico dos novos equipamentos, cobertos pela garantia.

7.4 IMPLANTAÇÃO DO CENÁRIO 2: INSTALAÇÃO DO SISTEMA TETRA EM 380MHz

Como o custo da migração para uma rede TETRAPOL em 380MHz seria similar a implantação de uma nova rede, também foi verificado o preço para implantação de uma rede TETRA em 380MHz, com quantidade de terminais e cobertura iguais a da atual rede TETRAPOL.

Foi escolhido o sistema TETRA para solicitação de orçamentos e não APCO 25, devido ao TETRA possuir mais fabricantes e maior uso, considerando o cenário mundial. Também foram comparados os preços unitários de itens da rede e terminais, através de compras efetuadas no Brasil por órgãos de segurança pública e defesa.

Para todos os contratos analisados, o sistema TETRA apresentou menor custo que o sistema APCO 25, tanto para aquisição quanto para manutenção.

A solicitação de orçamentos também considerou que o sistema deveria apresentar criptografia fim a fim.

- **Custo estimado para implantação do TETRA em 380MHz: 59,23%**

Este custo não contempla a licença de uso do aplicativo e servidor, necessários para o cenário híbrido. Como estimativa orçamentária, apenas para fins acadêmicos, considerando que a plataforma tenha valor igual ao do sistema TETRAPOL, neste trabalho também se considerou um acréscimo para esta plataforma, totalizando **59,94%**, dos quais 59,23% foi um valor obtido em orçamento solicitado a um fabricante do sistema TETRA, e o acréscimo de 0,71% foi um valor estimado, considerando o preço da plataforma híbrida do TETRAPOL como referência.

7.5 IMPLANTAÇÃO DO CENÁRIO 3: REDE ÚNICA PARA CC EM LTE

Como se trata de estudo de caso, considerou-se que a rede LTE deveria atender a mesma região atualmente coberta pelo sistema TETRAPOL. Portanto, para solicitação de orçamento para os fabricantes, consideraram-se apenas as necessidades do órgão público analisado.

Contudo, para a implantação no Brasil de uma rede única em banda larga para CC, as necessidades de todos os órgãos devem ser consideradas, assim como, dimensionamento de tráfego adequado.

No Brasil, as frequências designadas para segurança pública em LTE estão na faixa de 700MHz, portanto, para a cotação de preços de um sistema nesta faixa, que possua uma cobertura similar a um sistema já instalado em 450MHz, deve-se considerar um quantitativo maior de ERBs, devido à atenuação na *interface* aérea ser maior para frequências mais altas.

Adotou-se neste estudo, considerando que se trata de estimativa, um número de estações 40% maior das já existentes. Para um número preciso das ERBs, é necessário fazer previsões de cobertura para cada localidade.

Considerando a estimativa de 40%, o orçamento foi realizado para 137 estações, ao invés de 98, e 298 IDRs, ao invés de 213. Desta forma, foi verificado preços para sistema em LTE nos seguintes termos:

- O sistema deve possuir: criptografia fim a fim; capacidade de integração com as redes LMR; interoperabilidade com terminais e *smartphones* comerciais LTE.
- Sistema de administração da rede, permitindo, no mínimo, gerenciamento de: topologia, configurações, desempenho, falhas, *software*, sistema, *logs* de eventos, diagnóstico da rede, terminais, grupos de comunicação. Além de configuração de terminais, e criação / exclusão de grupos de comunicação.
- Central de despacho da rede, permitindo, no mínimo, processamento de chamadas de voz e vídeo multimídia, como suporte de funções como: chamadas em grupo; chamada de emergência; chamada direta para um terminal; registros de voz e vídeos; despacho de vídeos; junção de grupos; georreferenciamento e rastreamento dos terminais.
- Garantia de 2 anos.
- Instalação de 137 ERBs. A quantidade de canais para estas estações deve ser analisada, pois, atualmente, das 98 ERBs TETRAPOL, 95 possuem 4 portadoras e 3 possuem 8 portadoras. Como no LTE a capacidade de usuários por canal é muito superior aos atuais sistemas em LMR, deve-se analisar, considerando

dimensionamento de tráfego, quantas portadoras LTE atenderiam a capacidade em Erlangs (quociente entre o volume de tráfego e o período de observação), para a quantidade atual de canais em LMR.

- Implantação, instalação e ativação dos E-NodeBs com o sistema irradiante, assim como, dos módulos centrais (*core*).
- Aquisição de 298 Repetidoras táticas.
- Infraestrutura de sistema elétrico e sistema de energia de emergência, com banco de baterias e *nobreak*, para todas as estações.
- Atualmente, das 98 ERBs, 45 são *outdoor*, logo, não possuem salas de equipamento. Portanto, também devem ser fornecidos gabinetes *outdoor* ou contêineres para instalação de, no mínimo, 45 estações.
- Os 9 *control nodes* instalados em 9 estados, deve-se a limitação do TETRAPOL IP05 de estações por *control node*. O LTE pode atender todas as estações com um único controlador, portanto, é necessário apenas a cotação de 2 controladores, um para ser o principal e o outro para *backup*.
- Aquisição de 55 bases fixas de rádio, 1.575 rádios móveis e 7.182 rádios portáteis, com recursos de criptografia na *interface* aérea, operação em modo troncalizado (TMO) e ponto a ponto (DMO).
- Treinamentos para 100 servidores do órgão: treinamento nível para operação dos terminais portáteis, móveis e fixos; nível para operação das consoles de despacho; nível técnico. Com fornecimento de apostilas em mídia eletrônica.
- **Custos e principais vantagens e desvantagens**

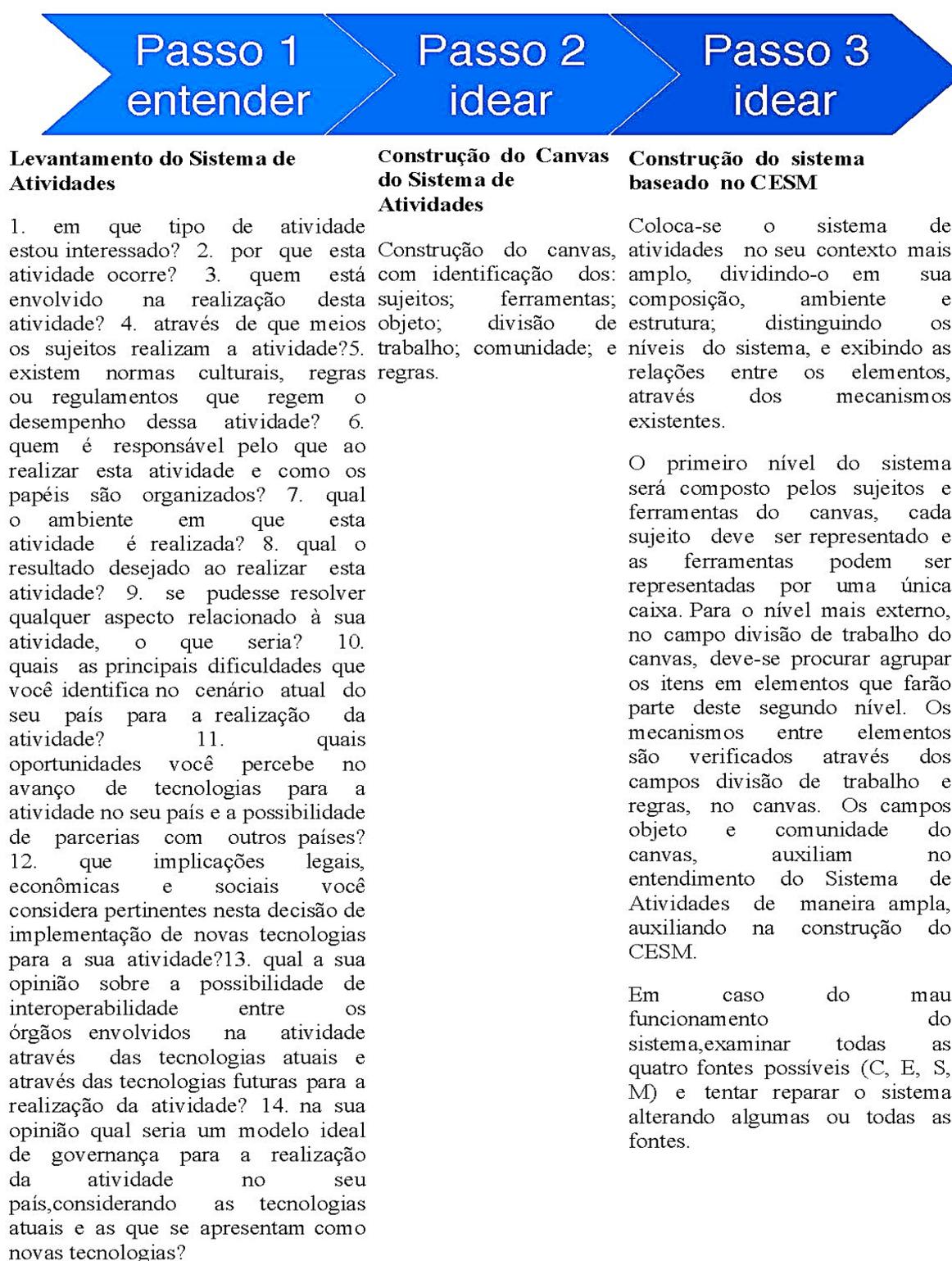
O custo estimado é feito considerando a média de valores fornecidos pelos fabricantes de equipamentos durante a cotação de preços.

- Custo estimado de **59,47%** para um sistema com cobertura similar à atendida atualmente pela rede fixa TETRAPOL.
- Custo estimado de **100%** para um sistema com cobertura similar da rede fixa (ERB) mais a rede tática (IDR). Para uso tático, o modelo é integrado com controlador de rede, ou seja, ENodeB mais *core* em um mesmo equipamento, tendo custo unitário elevado em relação ao ENodeB comum, sendo transportável e permitindo ativação em qualquer lugar e interligação com a rede.
- Principais vantagens e desvantagens estão descritos no item 8.3.2.3, relativo ao cenário 3.

8 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA ATRAVÉS DE ESTUDO DE CASO: RESULTADOS

Na Figura 21 é apresentado um resumo teórico do modelo de 6 passos:

Figura 21 – Resumo da aplicação do modelo de seis passos.





Identificação das dimensões

Os elementos do sistema CESM, serão as dimensões do modelo de Avaliação de Tecnologia, podendo ser todos eles ou alguns.

As ligações entre os elementos do CESM, são os campos de estudo que deverão ser analisados para valoração no fluxo informacional, podendo ser todos ou alguns.

A relação do elemento representativo do campo Ferramentas com o restante do sistema, é a dimensão representada pela tecnologia, esta dimensão deverá aparecer obrigatoriamente entre as dimensões analisadas.

Considerando que na Teoria da Atividade o elemento humano é indispensável, obrigatoriamente deverão existir as dimensões representativas dos sujeitos da atividade em análise.

Realização de PoC

Para uma nova tecnologia, o objeto da atividade, identificado no canvas, continua o mesmo, porém, as formas de análise podem possuir alguma variação, em função da nova tecnologia possuir diferentes parâmetros de medição. Portanto, deve-se realizar uma revisão de literatura buscando metodologia científica já consolidada para realização da PoC.

Caso não sejam encontradas metodologias, deve-se buscar dados de referência em outras comunidades que já tenham implantando estes sistemas, de preferência, com formas de implantação diferentes, para que a pesquisa possua dados mais abrangentes.

A partir do estudo da aplicação da tecnologia em outras comunidades, pode-se, considerando o objetivo do Sistema de Atividades, que continua o mesmo, e as particularidades da comunidade analisada, levantadas no passo 1, sugerir uma metodologia de PoC no âmbito da comunidade estudada.

Passo 6 validar

Desenho do modelo normalizado

Desenho de um único sistema informacional, alimentado pelos dados levantados nos passos anteriores, de forma resumida, atribuindo pesos de quanto determinada tecnologia atende as necessidades de cada dimensão.

Os números apresentados devem ser normalizados para facilitar a comparação, por isto, recomenda-se a utilização de valores percentuais.

Fonte: Elaboração própria.

A seguir são apresentados os resultados da pesquisa.

8.1 PASSOS 1 E 2

Partindo do método descrito no item 6.1, e adequando as perguntas ao objeto de pesquisa, foram elaboradas as questões exibidas no Quadro 10:

Quadro 10 – Questões de pesquisa para levantamento do Sistema de Atividades.

Como descreveria a atividade de CC? 2. Qual o objetivo da CC? 3. Quem está envolvido na realização da CC? 4. Quais são os recursos ou meios utilizados para a realização da CC? 5. Quais são as normas sociais, regras ou regulamentos que influenciam, ou regem o desempenho da CC? 6. Qual o papel de cada indivíduo na CC e como se organizam? 7. Qual o ambiente em que a CC é realizada? 8. Qual é o resultado desejado ao realizar CC? (MWANZA, 2011). 9. Se pudesse resolver qualquer aspecto relacionado à atividade CC, o que seria? (MELLO, 2018). 10. Quais as principais dificuldades que você identifica no cenário atual brasileiro para a realização da CC? 11. Quais oportunidades você percebe no avanço de tecnologias para CC no Brasil e a possibilidade de parcerias com outros países? 12. Que implicações legais, econômicas e sociais você considera pertinentes nesta decisão de implementação de novas tecnologias para CC? 13. Qual a sua opinião sobre a possibilidade de interoperabilidade entre os órgãos de segurança pública através das tecnologias atuais e através do LTE? 14. Na sua opinião qual seria um modelo ideal para a CC no Brasil, considerando as tecnologias atuais e as que se apresentam como novas tecnologias?

Fonte: Elaboração própria.

Definidas as questões, foi executado um pré-teste com público não participante das entrevistas, considerando aspectos sobre a clareza das questões; uso de termos compreensíveis; verificação sobre possíveis perguntas repetitivas; e se as perguntas refletem preconceitos velados ou induzem o participante a alguma resposta.

As questões foram aplicadas sob forma de entrevistas com sujeitos da atividade, especialistas, em ambiente reservado, em sessões com gravação do áudio, mediante o consentimento dos participantes, através de assinatura de termo de participação em pesquisa científica, conforme documento no Apêndice E.

Foram realizadas entrevistas com 10 especialistas na área de pesquisa, sendo estes pertencentes ao quadro funcional de diferentes órgãos de segurança pública e diferentes fabricantes de equipamentos para CC, como também, especialistas vinculados ao Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTIC). As entrevistas foram iniciadas com uma explicação sobre o experimento, seguidas da aplicação das questões.

As respostas das entrevistas estão no apêndice A deste trabalho. Os dados obtidos a partir das entrevistas, são apresentados de forma resumida através do canvas do Sistema de Atividades Comunicação Crítica, conforme Figura 22, passo 2 da metodologia proposta.

Figura 22 – Passo 2: Canvas Sistema de Atividade Comunicação Crítica.



Fonte: Elaboração própria.

8.2 PASSO 3

Conforme metodologia proposta neste trabalho, foi construído o sistema através de contribuições teóricas do modelo CESM, e da aplicação metodológica descrita na seção 6.2, sendo os componentes do sistema os sujeitos e ferramentas do canvas, onde cada sujeito deve ser representado, e as ferramentas podendo ser representadas por um único elemento. Os componentes são: usuários (Agentes de Segurança); especialistas; e ferramentas (Sistemas e Equipamentos de Radiocomunicação). Os Quadros 13, 14 e 15 podem auxiliar nesta etapa.

O ambiente são itens externos que atuam ou sofrem ação de algum componente, sendo identificados no campo ‘divisão de trabalho’ do canvas, agrupando os itens deste campo, tem-se o Quadro 11, onde foram identificados 4 grupamentos, também representados na Figura 23.

Quadro 11 - Ambiente do modelo CESM.

Canvas, campo ‘divisão de trabalho’	Grupamentos - Ambiente
Pesquisadores	Universidades
Gestores; usuário coordenador da operação; usuário agente; corpo técnico; posto diretor da rede; gestor técnico da rede; CICCR; assessoria jurídica do órgão, município, estado ou federação; ANATEL; ministério da segurança pública; órgãos de segurança e defesa.	Governo
Fabricantes	Empresas Privadas
Qualquer do povo	Sociedade

Fonte: Elaboração própria.

As estruturas são as ligações entre componentes e entre estes e o ambiente, ou seja, na Figura 23 são representadas pelas linhas que ligam as caixas. Já os mecanismos são os processos que atuam sobre as transformações, representados através das relações entre estes elementos.

Estes mecanismos podem ser encontrados nos campos regras e divisão de trabalho do canvas, com auxílio dos campos objeto, comunidade e ferramentas, para entendimento do Sistema de Atividades de maneira ampla. Desta forma, foi construído o Quadro 12, onde os elementos extraídos do campo regras são indicados na cor verde; campo objeto na cor azul; divisão de trabalho na cor laranja; comunidade na cor amarela; e ferramentas na cor vermelha.

Quadro 12 - Mecanismos do modelo CESM.

Componentes	Canvas, campos: divisão de trabalho, regras, objeto, comunidade e ferramentas.	Mecanismos	Componentes	Ambiente
Usuários (Agentes de Segurança)	Cautela de uso dos equipamentos em nome do agente	Acautelamento de equipamentos	Especialistas	-

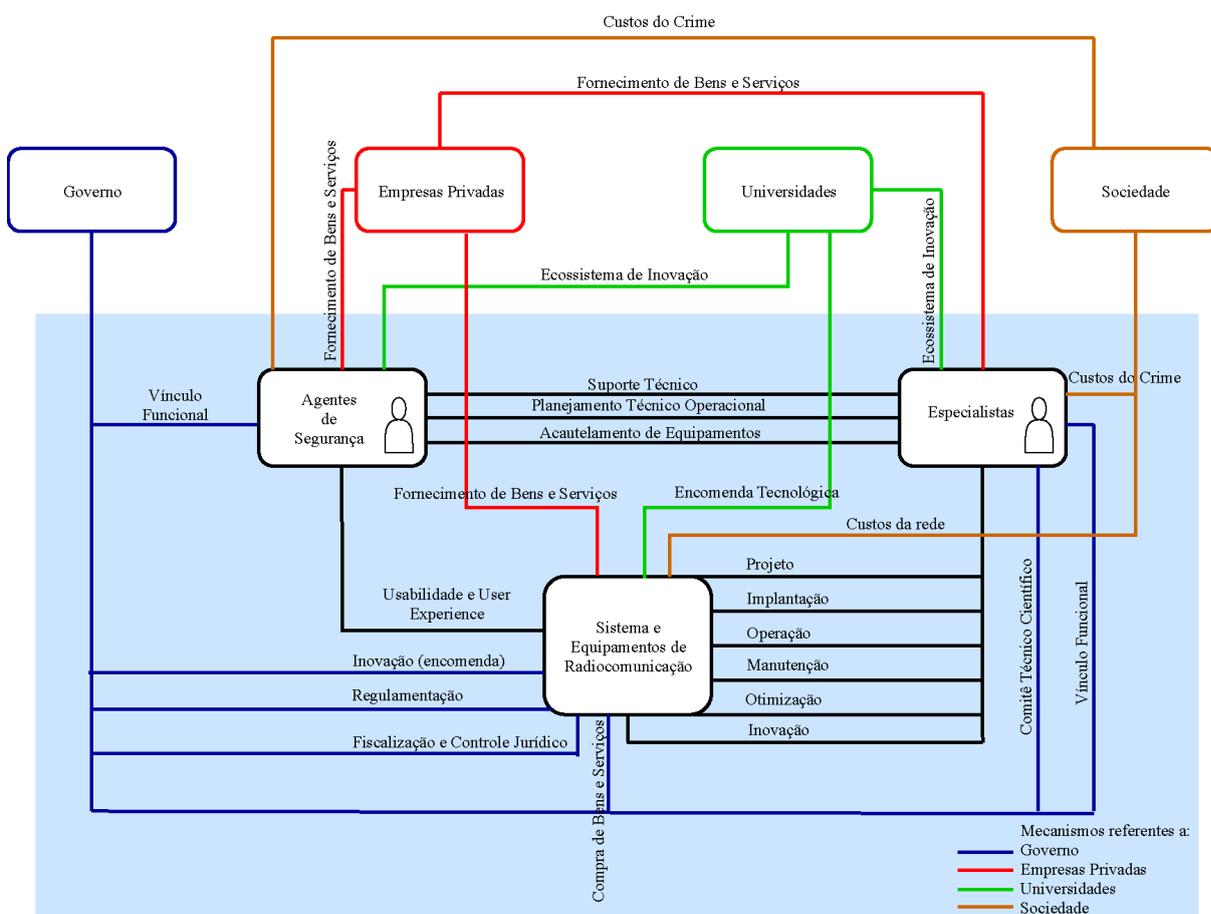
	Seguir o diagrama de rede de rádio (DDR); utilização de códigos ao invés de nomes dos agentes; determinação de a CC ser a oficial para operações; normativos com explicação sobre uso do sistema e equipamentos; utilização de alfabeto fonético internacional; comunicação clara, concisa e objetiva, com ocupação do canal apenas quando necessário; normas internas dando poderes ao posto operador da rede; postura ética e respeitosa na comunicação; utilização de código Q para abreviar frases.	Planejamento técnico operacional		-
	Licenciamento das ERBs; estar disponível 24h nos 7 dias da semana; não pode falhar, principalmente quando outros sistemas não funcionam; prover comunicação entre agentes e entre estes e o CICCR; permitir o controle e gerenciamento dos usuários.	Suporte Técnico		-
	Gestores; usuário coordenador da operação; usuário agente; CICCR; assessoria jurídica do órgão, município, estado ou federação.	Vínculo Funcional	-	Governo: ANATEL;
Especialistas	Corpo técnico; posto diretor da rede; gestor técnico da rede.	Vínculo Funcional; Comitê Técnico Científico	-	Ministério da segurança pública; órgãos de segurança e defesa.
Usuários (Agentes de Segurança)	Estar disponível 24h nos 7 dias da semana; não pode falhar, principalmente quando outros sistemas não funcionam; prover comunicação entre agentes e entre estes e o CICCR; permitir o controle e gerenciamento dos usuários.	Fornecimento de bens e serviços	-	Empresas Privadas: Fabricantes
Especialistas		Fornecimento de bens e serviços	-	
Usuários (Agentes de Segurança)	Ferramentas: Estações de programação, gerenciamento e controle (<i>software e hardware</i>); acessórios para rádio portátil; estação para realização de <i>drive test (software e hardware)</i> ; terminais de radiocomunicação; controladores de rede; <i>gateway</i> ; ERBs; bateria de rádio portátil; repetidores; atribuições do sistema: não pode falhar, principalmente quando outros sistemas não funcionam; deve prover comunicação entre agentes e entre estes e o CICCR; deve ser imune a interceptações; deve permitir o controle e gerenciamento dos usuários; que otimize a resolução de crimes e atendimento da população; deve auxiliar na Tomada de Decisão; deve prover resposta rápida na confirmação da entrega da informação.	Ecossistema de inovação	-	Universidades: Pesquisadores
Especialistas		Ecossistema de inovação	-	
Usuários (Agentes de Segurança)	Viabilizar segurança da população; otimização na resolução de crimes e atendimento a população; possibilitar o salvamento de vidas. Qualquer local onde exista uma vida em risco; locais onde ocorreram ou podem	Custos do crime	-	Sociedade: Qualquer do povo
Especialistas	ocorrer crimes ou contravenções.		-	
Sistemas e Equipamentos de Radiocomunicação	Estar disponível 24h nos 7 dias da semana; sem interferência; de forma rápida; efetiva e eficiente; segura; confiável que atendam as forças de segurança, defesa civil, aeroportos e demais órgãos que precisem de utilizar comunicação em situações críticas. Terminais de radiocomunicação.	Usabilidade e UX	Usuários (Agentes de Segurança)	-
	Proibição de uso de frequência não autorizada pela ANATEL; normas internacionais de padronização para o TETRA, TETRAPOL e APOCO25; seguir lei de licitações e contratos para aquisições e serviços (lei 8.666). Prover resposta rápida na confirmação da entrega da informação; auxiliar	Projeto	Especialistas	-

	<p>na Tomada de Decisão de forma rápida e eficiente; otimização na resolução de crimes e atendimento a população; permitir controle e gerenciamento de usuários; ser imune a interceptações; prover resposta rápida para os envolvidos nas atividades de segurança pública e salvamento, com comunicação e transferência de dados de forma rápida e segura. Locais de abrangência da cobertura: todos os itens do campo Comunidade no canvas.</p> <p>Itens para aquisição: todos os itens do Campo Ferramentas, com relação a interface aérea, esta aquisição refere-se a licença de uso da faixa de frequência junto à ANATEL.</p>			
	<p>Normas internacionais de padronização para o TETRA, TETRAPOL e APOCO25; seguir lei de licitações e contratos para aquisições e serviços (lei 8.666); licenciamento das ERBs;</p>	Implantação		-
	<p>Normas internacionais de padronização para o TETRA, TETRAPOL e APOCO25; utilização de alfabeto fonético internacional para falar letras e números; comunicação clara, concisa e objetiva, com ocupação do canal apenas quando necessário; determinação de a comunicação crítica ser a oficial para operações; normativos com explicação sobre uso do sistema e equipamentos ; normas internas dando poderes ao posto operador da rede; utilização de códigos ao invés de nomes dos agentes; seguir o diagrama de rede de rádio; postura ética e respeitosa na comunicação; utilização de código Q para abreviar frases; cautelo de uso dos equipamentos em nome dos agentes. Não pode falhar, principalmente quando outros sistemas de comunicação não funcionam; prover comunicação entre agentes e entre estes e o CICCR.</p>	Operação		-
	<p>Estar disponível 24h nos 7 dias da semana; sem interferência; de forma rápida; efetiva e eficiente; segura; confiável que atendam as forças de segurança, defesa civil, aeroportos e demais órgãos que precisem utilizar comunicação em situações críticas; não pode falhar, principalmente quando outros sistemas de comunicação não funcionam. Itens para manutenção: todos os itens do Campo Ferramentas, com relação a interface aérea, esta manutenção refere-se a drive tests periódicos para verificação da qualidade do sinal na região.</p>	Manutenção		-
	<p>Estar disponível 24h nos 7 dias da semana; sem interferência; de forma rápida; efetiva e eficiente; segura; confiável que atendam as forças de segurança, defesa civil, aeroportos e demais órgãos que precisem utilizar comunicação em situações críticas; não pode falhar, principalmente quando outros sistemas de comunicação não funcionam. Itens para otimização: ERBs; repetidores; interface aérea; controladores de rede (através de ajustes de parâmetros físicos nas ERBs e repetidores, como azimutes e downtilt nas antenas, e parâmetros lógicos, como, tempo de reSeleção, estações vizinhas, etc.). A estação para realização de drive test auxilia para verificação de regiões que necessitam de ações de otimização.</p>	Otimização		-
	<p>Ações de melhoria nas ferramentas e processos mapeados, visando melhorias no atendimento do objeto do Sistema de Atividades.</p>	Inovação		-
	<p>Ações de melhoria nas ferramentas e processos mapeados, visando melhorias no atendimento do objeto do Sistema de Atividades, através das leis relacionadas a inovação e lei de licitações e contratos para aquisições e serviços (lei 8.666).</p>	Inovação (encomenda)	-	Governo: ANATEL; Ministério da segurança pública;
	<p>Proibição de uso de frequência não autorizada pela ANATEL; seguir lei de licitações e contratos para aquisições e serviços (lei 8.666); licenciamento</p>	Regulamentação	-	órgãos de

	das ERBs; designação de frequências e autorização de uso dos equipamentos; determinação do governo para uso da rede única LTE.			segurança e defesa.
	Gestores; corpo técnico; ANATEL. Ministério da Segurança Pública. Executando as ações de: Proibição de uso de frequência não autorizada pela ANATEL; seguir lei de licitações e contratos para aquisições e serviços (lei 8.666); licenciamento das ERBs; designação de frequências e autorização de uso dos equipamentos; determinação para uso da rede única LTE.	Fiscalização e controle jurídico	-	
	Através da lei de licitações e contratos para aquisições e serviços (lei 8.666).	Fornecimento de bens e serviços	-	Empresas Privadas: Fabricantes
	Ações de melhoria nas ferramentas e processos mapeados, visando melhorias no atendimento do objeto do Sistema de Atividades, através das leis relacionadas a inovação e lei de licitações e contratos para aquisições e serviços (lei 8.666).	Encomenda tecnológica	-	Universidades: Pesquisadores
	Preço de aquisição dos itens no Campos Ferramentas no Canvas	Custos da rede	-	Sociedade: Qualquer do povo

Fonte: Elaboração própria.

Figura 23 – Passo 3: Sistema proposto para Comunicação Crítica.



Fonte: Elaboração própria.

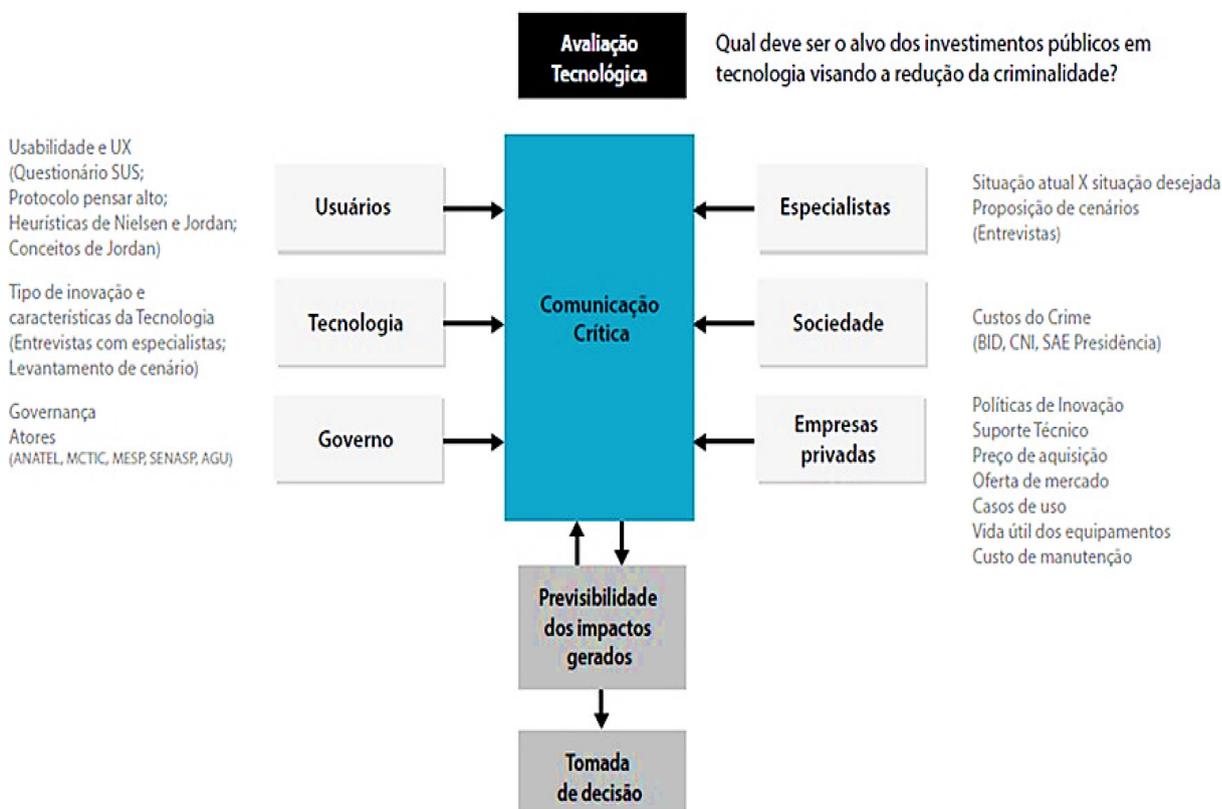
Na Figura 23, verifica-se o sistema proposto para a atividade CC.

8.3 PASSO 4 – CONSTRUÇÃO DE PROPOSTA DO MODELO PARA AT: RESULTADOS DIMENSÕES

Desta forma, a partir da metodologia apresentada no capítulo 6, buscou-se aplicar o método ao estudo de caso, resultando nos dados apresentados nas seções seguintes.

Para o estudo de caso, foram escolhidas seis dimensões, sendo caixas informacionais que devem possuir parâmetros objetivos que possibilitem análise e medições, fornecendo resultados normalizados dentro do fluxo informacional. Na Figura 24, pode-se visualizar as caixas informacionais e parâmetros de valoração.

Figura 24 – Passo 3: Modelo para Avaliação Tecnológica em Comunicação Crítica.



Fonte: Elaboração própria.

Nas seções seguintes são apresentadas as medições para cada dimensão.

8.3.1 Medições das percepções da tecnologia

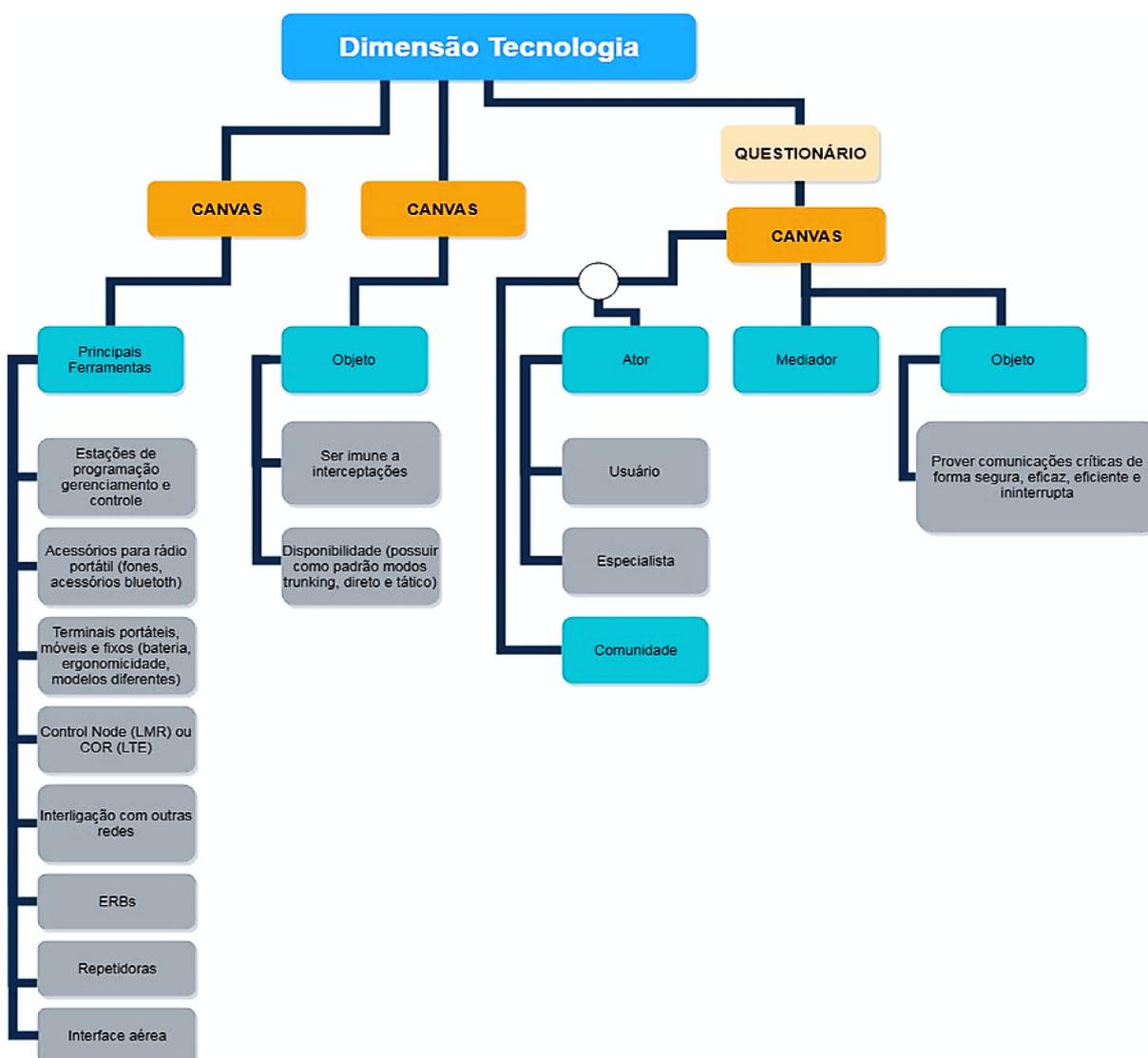
Para isto, optou-se por utilizar levantamento de cenários para as tecnologias utilizadas atualmente, buscando-se verificar em quais pontos estas tecnologias já atendem as necessidades levantadas pelos especialistas e em que pontos não atendem. Utilizou-se os estágios 3 e 4 da

metodologia de Mwanza (2011), através da elaboração de questões e consulta a especialistas, diferentes dos consultados no passo 1, a fim de aumentar a amostragem, bem como, consulta aos três principais órgãos de segurança e defesa no Brasil, sendo estes, PF, PRF e Exército.

Para novas tecnologias, optou-se por realizar PoC, observando os pontos levantados, mais os que são importantes, de acordo com revisão de literatura e RSL. Para isto, foi necessário a realização de um estudo bibliográfico específico para PoC em LTE para CC, que será descrito no passo 5 deste capítulo e no apêndice D.

Para o estudo de caso, foram escolhidas para valoração, as oito principais ferramentas descritas no canvas, considerando sua importância para o objeto da atividade, de acordo com os especialistas. Mais duas perguntas relacionadas ao campo objeto, mais a construção de um questionário de 28 perguntas, conforme ilustrado na Figura 25.

Figura 25 – Dimensão tecnologia, dentro do modelo de AT.



Fonte: Elaboração própria.

A aplicação dos estágios 5 e 6 de Mwanza (2001), resultou na condução de investigação detalhada e interpretação dos achados. A partir da análise das entrevistas, alguns possíveis cenários foram considerados para este estudo, sendo estes cenários:

- 1) Cenário 1 - melhoria dos sistemas em LMR, APCO 25, TETRA e TETRAPOL;
- 2) Cenário 2 - sistema híbrido LMR e LTE;
- 3) Cenário 3 - implantação de uma rede única para CC em LTE.

Portanto, para o estágio 4 da metodologia de Mwanza (2001), as perguntas devem ser construídas objetivando o levantamento de dados para os 3 cenários listados acima, considerando os pontos mais importantes relatados pelos especialistas.

Através da análise do canvas (Figura 22), verifica-se que os sujeitos são: usuários e especialistas do sistema; o objeto pode ser resumido em: viabilizar que ocorram comunicações críticas de forma segura, eficaz, eficiente e ininterrupta. Os demais itens podem ser agrupados em quadros, conforme Quadros 13, 14 e 15 exibidos a seguir. As perguntas são elaboradas utilizando os grupamentos informacionais ‘sujeitos’; ‘objeto’; ‘regras e regulações’; ‘divisão de trabalho’; e ‘ferramentas’.

A partir da análise das entrevistas, 3 possíveis cenários foram considerados para este estudo. Portanto, foram realizados questionários que possibilitaram o levantamento de dados para estes cenários, considerando os pontos identificados pelos especialistas.

Além disto, também foi possível levantar os dados referentes aos elementos do Sistema de Atividades. Os quadros a seguir referem-se a: regras e regulações envolvidas no Sistema de Atividades em estudo; como se dá a divisão de trabalho na atividade analisada; e quais são as ferramentas utilizadas para realização da atividade.

Quadro 13 – Grupamento regras e regulações.

Regras e Regulações	Itens Agrupados
Legislação e órgão reguladores	ANATEL (licenciamento das ERBs, designação de frequências e autorização de uso dos equipamentos); MCTIC; SENASP; AGU; Ministério da Segurança Pública (atualmente denominado Ministério da Justiça); normas internacionais de padronização; Lei 8.666; determinação do governo, para uso de rede única LTE.
Conduta	Utilização de alfabeto fonético internacional; comunicação clara, concisa e objetiva, com ocupação do canal apenas quando necessário; utilização de códigos ao invés de nomes dos agentes; postura ética, e respeitosa na comunicação; utilização de código Q para abreviar frases.
Regras	Normas internas dando poderes ao posto operador da rede; normativos com explicação sobre uso do sistema e equipamentos; cautela de uso dos equipamentos em nome dos agentes; seguir o diagrama de rede de rádio (DDR)

Fonte: Elaboração própria a partir das entrevistas.

Quadro 14 – Grupamento divisão de trabalho.

Divisão de Trabalho	Itens Agrupados
Instituições e Centros	ANATEL, AGU, SENASP, Ministério da Segurança Pública (atualmente denominado Ministério da Justiça), MCTIC, CICCR
Gestores	Tomada de Decisão
Usuários de rádio	Coordenador da operação, agentes, corpo técnico, utilização do rádio
Especialistas	Posto diretor da rede, corpo técnico do órgão, fabricantes, comitê técnico científico, projeto, acompanhamento da implantação, operação, manutenção, otimização, inovação
Fabricantes	Fornecimento de bens e serviços, inovação

Fonte: Elaboração própria a partir das entrevistas.

Quadro 15 – Grupamento ferramentas.

Ferramentas	Itens Agrupados
Estações de programação, gerenciamento e controle	<i>Software e hardware.</i> Para o caso do sistema TETRAPOL as estações são: SADP, TWP, TPS, TMP e TACT.
Acessórios para rádio portátil	Fones discretos, acessório para acionamento do <i>push to talk</i> de diferentes modelos, carregadores de bateria; bateria de rádio portátil.
Estação para realização de <i>drive test</i>	<i>Software e hardware.</i>
Terminais de radiocomunicação	Rádios portáteis, móveis e fixos. Para o caso do TETRAPOL, os rádios portáteis são: TPH 600, TPH 700 e TPH 900.
Peças de reposição para ERBs e repetidores	Componentes do sistema como placas e cabos.
Estação de geração de chaves de criptografia	Para o caso do TETRAPOL: KMC nas regionais com <i>Control Node</i> e KLU na DTI em Brasília.
Controladores de rede	Control node, COR, núcleo da rede.
<i>Gateway</i> para interligar redes distintas	Gatepro, Motobridge.
Link de dados para as ERBs	Microondas, fibra ótica, par metálico, satélite.
Estações rádio base (ERBs)	Modelos TMP e IP, para o TETRAPOL, as versões são de IP05 até IP21.
Torres de telecomunicações	Torres próprias, alugadas e cedidas. Sistema irradiante instalado nas torres.
Salas de equipamentos	CICCR; contêineres, salas cedidas ou alugadas para as ERBs e repetidores; gabinete <i>outdoor</i> para ERB; salas de gerência; salas de <i>control node</i> .
<i>Interface</i> aérea	Interferência, interceptação, latência, cobertura, qualidade de serviço.
Repetidores	Modelos que possibilitam ou não conexão com a rede. No TETRAPOL existe a IDR, com apenas 1 canal e sem conexão. Como também, a IDR <i>EVOLUTION</i> , com conexão com a rede fixa (modo TMO) e dois canais de comunicação.

Fonte: Elaboração própria a partir das entrevistas.

Através dos grupamentos gerados, seguindo o Quadro 5, tem-se o Quadro 16.

Quadro 16 – Estrutura para elaboração das questões para o sistema em estudo.

ATOR		MEDIADOR		OBJETO
ESPECIALISTA / USUÁRIO	Como usam 	Estações de programação, gerenciamento e controle Acessórios para rádio portátil Estação para realização de <i>drive test</i>	Para conseguir 	Prover estrutura que viabilize comunicações críticas de

		Terminais de radiocomunicação Peças de reposição para ERBs e repetidores Estação de geração de chaves de criptografia Controladores de rede Gateway para interligar redes distintas Link de dados para as ERBs Estações rádio base (ERBs) Torres de telecomunicações Salas de equipamentos Interface aérea Repetidores		forma segura, eficaz, eficiente e ininterrupta
	Como afetam 	Legislação e órgão reguladores Conduta Regras		
	Como influenciam 	Instituições e Centros Gestores Usuários de rádio Especialistas Fabricantes		
-Portos -Viaturas -Aeroportos -Embarcações -Aviões e Helicópteros -Condução de presos -Torre de controle de voos -Regiões de fronteira -Órgãos de segurança e defesa -Qualquer hora e local (24h) -Centro Integrado de Comando e Controle Regional (CICCR) -Qualquer lugar onde exista uma vida em risco -Grandes eventos como copa do mundo e olimpíadas -Regiões de cultivo de plantas com substâncias psicoativas -Situações críticas onde decisões rápidas precisam ser tomadas -Locais de resgate em cavernas, montanhas, florestas, área submersa -Shows, eventos esportivos, carnaval, e outros eventos com grande concentração de pessoas -Locais de difícil acesso como floresta, caatinga, cerrado, montanha, alto mar. -Hotéis, centro de convenções, comitês eleitorais, passeatas,	Quais afetam 	Legislação e órgão reguladores Condutas Regras		
	Como afetam 	Instituições e Centros Gestores Usuários de rádio Especialistas Fabricantes		

carreatas, eventos e quaisquer outros locais visitados por autoridade que está sendo protegida -Locais onde ocorreram catástrofes, acidentes, crimes, desastres naturais, desabamentos, desmoronamentos, incêndios, contravenções, tumultos e desordens de qualquer espécie				
--	--	--	--	--

Fonte: Elaboração própria através das entrevistas

Desta forma, pode-se elaborar questões, como, por exemplo, utilizando a primeira linha do Quadro 16: como os especialistas usam as estações de programação, gerenciamento e controle para viabilizar que ocorram comunicações críticas de forma segura, eficaz, eficiente e ininterrupta?

Utilizando esta estrutura, considerando também os principais pontos que devem ser verificados, de acordo com a opinião dos especialistas, e transformando o questionário em uma linguagem mais próxima da adotada pelo corpo técnico dos órgãos, assim como, para algumas perguntas, padronizando as respostas para facilitar o tratamento dos dados, foram elaboradas as questões listadas no Apêndice B, para serem respondidas pelos órgãos de segurança e defesa.

Desta forma, a avaliação para a caixa informacional referente a tecnologia, se dá através dos dados obtidos juntos aos órgãos de segurança e defesa que já utilizam os sistemas, e estão habituados as funcionalidades, particularidades, benefícios e dificuldades, ou seja, a partir de dados reais obtidos juntos aos especialistas de órgãos públicos federais.

As 28 perguntas apresentadas no Apêndice B, correspondem a caixa ‘questionário’ na Figura 25. Para avaliação da caixa ‘Principais Ferramentas’, também da Figura 25, foram construídas 44 questões que viabilizassem a percepção destas, através do sujeito ‘especialista’, considerando este sujeito como usuário da ferramenta, estas questões estão no Apêndice C. Todas as perguntas foram validadas em forma de pré-teste antes de suas aplicações

Para melhor coleta de dados, foram utilizados os conceitos *User Experience* (UX) para a construção das 44 questões, com similaridades as do Questionário SUS. Os conceitos relacionados a UX e ao Questionário SUS, são apresentados na seção da dimensão usuários.

Com relação à caixa ‘Objeto’ da Figura 25, os 3 sistemas, APCO25, TETRA e TETRAPOL, são imunes a interceptações, devido à robustez das criptografias utilizadas.

Com relação à disponibilidade, sendo esta, possuir como padrão os modos TMO, DMO e tático, através da ativação de repetidores integráveis ao modo TMO e escalonáveis, os 3 padrões também atendem a todos estes critérios.

Com relação à caixa ‘Objeto’ para o LTE, este sistema também é imune à interceptação. Com relação à disponibilidade, o modo DMO foi estabelecido recentemente, no *release* 14, como padrão no LTE para CC, portanto, o LTE também atende todos os critérios.

As 28 perguntas referentes a caixa ‘Questionário’, foram enviadas para a PF, PRF e Exército, sendo todas respondidas, possibilitando um levantamento do cenário atual da CC destes órgãos, como também uma avaliação dos sistemas TETRAPOL, TETRA e APCO25.

Como as respostas deste questionário contém dados sobre a tipologia e disponibilidade das redes dos 3 principais órgãos de segurança pública e defesa no âmbito nacional, por questões de segurança nacional, as respostas não serão apresentadas nesta pesquisa, apenas as pontuações referentes a cada tecnologia avaliada, sendo estas: **39,02 para TETRAPOL de uso da PF; 70,73 para TETRA de uso da PRF; 53,66 para APCO 25 de uso do Exército.**

As 44 perguntas referentes a caixa ‘Principais Ferramentas’, foram respondidas por 9 diferentes especialistas em CC, vinculados a PF, PRF e Exército, sendo 3 especialistas de cada órgão.

Ao início do procedimento, cada participante recebeu uma breve explicação sobre a pesquisa e foi convidado a responder a um questionário para coleta de informações pessoais, além de assinar um termo de ciência de participação em pesquisa científica, constante no Apêndice E.

As respostas foram pontuadas considerando os princípios do Questionário SUS, e estão detalhadas na Tabela 4, onde NR significa Não Respondido e NA Não Aplicado. As pontuações foram: **70,47 para TETRAPOL; 84,85 para TETRA; 87,59 para APCO 25.**

Tabela 4 - Pontuação principais ferramentas.

Questões	Exército			Polícia Rodoviária Federal			Polícia Federal		
	Especialista 1	Esp. 2	Esp. 3	Especialista 1	Esp. 2	Esp. 3	Especialista 1	Esp. 2	Esp. 3
1	1		1 2	1		1 3 3		3	2
2	1		3 3	NR		5 3 3		3	3
3	2		2 1	1		2 3 2		3	2
4	2		3 1	1		1 2 1		2	2
5	2		1 1	1		1 2 1		2	3
6	2		1 1	1		1 2 1		2	2
7	3		2 2	NR		4 2 2		3	3
8	2		2 3	NR		1 2 2		3	3
9	1		2 1	3		3 2 1		1	2
10	2		2 1	1		2 3 2		2	2
11	2		1 3	1		1 2 1		2	4
12	1		1 1	1		3 3 NA		NA	NA
13	4		5 5	NR		4 NR 3		4	3
14	1		1 2	1		1 2 1		2	2
15	1		1 1	1		2 2 2		2	2
16	1	7 ANOS	1 1	1	4 ANOS	1 1 1	12 ANOS	2	1

17	1		1	3	3		1	3	2		3	1
18	1		1	1	1		2	2	1		2	2
19	1		1	1	1		4	2	1		2	2
20	1		1	1	1		2	3	1		3	2
21	2		1	1	1		1	1	3		4	4
22	2		1	2	1		2	1	3		3	4
23	2		2	2	1		2	1	3		4	3
24	1		1	2	3		2	1	3		3	3
25	2		1	2	1		NR	2	1		3	5
26	2		1	1	1		3	2	2		2	3
27	1		1	1	1		1	1	2		3	4
28	1		1	2	1		1	1	2		2	2
29	1		1	1	1		1	2	2		2	3
30	1		1	1	1		NR	2	1		2	2
31	3		1	1	1		2	2	1		2	2
32	1		2	1	1		1	1	1		2	2
33	1		2	3	1		1	2	2		4	3
34	1		1	1	1		1	1	2		3	3
35	1		1	1	1		1	1	2		2	3
36	1		2	1	1		1	1	2		4	2
37	1		1	1	1		1	2	2		4	2
38	1		1	2	1		1	1	1		2	3
	1		1	NR	NA		NA	NA	1		2	2
39	1		1	2	1		2	2	1		1	2
	1		1	NR	NA		NA	NA	1		1	2
40	1		1	2	1		1	2	1		2	2
	1		1	NR	NA		NA	NA	1		2	2
41	1		1	1	1		1	1	1		2	1
42	1		1	1		3	1	1	2		2	2
43	1		1	2		1	1	1	1		1	2
44	2		1	2		1	1	1	1		2	2
Soma	67		64	71	43		71	77	76		112	113
Não respondido (NR) = 3(centro da escala)	0		0	9	12		6	3				
Soma Total	67		64	80	55		77	80	76		112	113
Pontuação obtida	70,33333333					70,66666667				100,33333333		
Melhor pontuação possível	47					44				46		
Pior pontuação possível	235					220				230		
Valor normalizado	87,58865248					84,84848485				70,47101449		

Fonte: Elaboração própria a partir de aplicação de questionários a especialistas.

Como atualmente no Brasil não existem redes LTE para CC ativas, não foi possível avaliar as caixas informacionais ‘Questionário’ e ‘Principais Ferramentas’ para esta tecnologia.

Com relação à caixa ‘Objeto’, os 3 sistemas em LMR e o LTE, **pontuam 100%**.

Desta forma, as tecnologias pontuam: TETRAPOL = $(70,47+100+39,02) / 3 = 69,83$; TETRA = $(84,85+100+70,73) / 3 = 85,19$; APCO 25 = $(87,59+100+53,66) / 3 = 80,42$. Estas pontuações referem-se apenas aos sistemas LMR já implantados nos órgãos, sem interligação

com redes LTE. Também não foi possível analisar redes LTEs dedicadas para CC, por não existirem casos de uso no Brasil, portanto, as pontuações referem-se apenas ao cenário 1.

8.3.2 Medições da percepção dos sistemas de CC por parte dos especialistas

Esta medição é realizada através de dados coletados das entrevistas aplicadas no passo 1, utilizando-se dos estágios 1 e 2 da metodologia de Mwanza (2011), como também, da aplicação dos estágios 3 e 4 da metodologia de Mwanza (2011), utilizadas no passo 4 da metodologia proposta neste trabalho, que possibilitou a comparação dos cenários existentes e possíveis cenários futuros, em relação a uma rede ideal de CC.

A partir da análise das entrevistas, foram escolhidos 17 pontos para realizar a comparação dos dados levantados dos cenários, versus aspirações de cenário (rede ideal), conforme Quadro 18, pontos estes considerados fundamentais pelos especialistas.

Nesta etapa foram levantados dados para os 3 cenários em comparação com uma rede ideal, de acordo com a análise das entrevistas.

8.3.2.1 Cenário 1 - Melhoria dos atuais sistemas em LMR

Trata-se de inovação tecnológica com grau de impacto incremental, pois, as melhorias apresentadas pelos sistemas seriam referentes as atualizações de versões de *software* e *hardware*, além de manutenção da rede existente. Desta forma, oferecendo melhor desempenho do sistema, com provável menor quantidade de manutenções corretivas.

Contudo, este cenário não viabiliza o atendimento total do quadro ‘aspirações e desejos’ contido no Apêndice A. Portanto, apesar de uma possível melhoria na eficiência, o usuário continuaria insatisfeito com as funcionalidades disponíveis atualmente.

Seria uma solução mais adequada, considerando fatores de imediatismo, não englobando todo o contexto necessário para uma decisão abrangente, contudo, reduzindo o impacto de um problema atual, relacionado a falta de manutenção e atualização adequadas.

- Cenário 1: Necessidades para viabilização da implantação

Os sistemas já estão implantados nos órgãos, desta forma, as ações de melhoria não necessitariam de implantação de novas políticas públicas, processos ou sistemas, necessitando apenas de contrato de manutenção com os fabricantes, para fornecimento de peças e serviços necessários, assim como, planejamento de expansão da cobertura para locais com falhas.

- Cenário 1: Limitações atuais no Brasil e proposição de soluções.

Com relação à integração das redes, um dos grandes problemas para utilização de um mesmo sistema entre os órgãos, é a falta de conhecimento em sistemas de CC. Pois, este tipo de sistema permite que se tenha controle da rede e separação dos órgãos, inclusive separação da gerência da rede, com criação de redes separadas e, caso necessário, utilização de grupos de comunicação integrados, previamente designados para isto, ou seja, a gestão, operação e controle podem ser individualizados por órgão.

Muitas destas agências não possuem corpo técnico com conhecimento em telecomunicações e muitos gestores desconhecem o funcionamento deste tipo de rede.

Atualmente existem no Brasil mais de 30 redes de CC, cada órgão, com sua própria rede, com coberturas, por vezes, até na mesma região, mas sem integração e interoperabilidade. Abaixo no Quadro 17, são apresentados alguns casos de uso de recursos em redes distintas.

Quadro 17 – Utilização de sistemas de rádio por algumas SDSs no Brasil.

Localidade	População	Sistema Utilizado (SDS)	Número de rádios	Número de torres	Alcance	Tempo para implantação	Total investido
Espírito Santo	3.839.366	APCO 25	750 fixos, móveis e portáteis	5	80% do Estado	8 meses	R\$ 10 milhões
Alagoas	3.300.935	TETRA	700 fixos, móveis e portáteis	30	70% do Estado	6 meses	R\$ 15 milhões
Distrito Federal	2.789.761	TETRA	12 mil fixos, móveis e portáteis	40	99% do Distrito	4 meses	R\$ 20 milhões
Rio de Janeiro (capital)	6.429.923	TETRA	10 mil fixos, móveis e portáteis	41	99% da cidade	Gradual (começou em 2007 durante o Pan-Americano e terminou em 2010)	R\$ 25 milhões

Fonte: Extraído de Freire & Cândido (2018).

Desta forma, atualmente, não é possível fazer a interoperabilidade de forma eficiente, pois, cada órgão compra sistemas diferentes e a forma de se fazer interoperabilidade é através do uso de *gateways*, que integram apenas voz.

Quando cada órgão compra uma tecnologia diferente, posteriormente, para que os órgãos utilizem um grupo integrado, como necessário em uma crise, precisa-se comprar mais equipamentos, deixando os sistemas ainda mais complexos.

8.3.2.2 Cenário 2: Sistema híbrido LMR e LTE

Trata-se de inovação tecnológica incremental, pois, as melhorias apresentadas pelos sistemas seriam referentes as atualizações de versões de *software* e *hardware*, oferecendo melhor desempenho do sistema, com provável menor quantidade de manutenções corretivas. Além da inserção de novas funcionalidades, viabilizadas através da junção do LTE ao LMR.

- Cenário 2: Necessidades para viabilização da implantação

Este cenário considera os órgãos de segurança utilizando as atuais redes LMR, atualizadas e disponíveis, com a viabilidade de integração com LTE, através de plataforma que realize a integração entre o atual sistema LMR e a rede LTE comercial.

Desta forma, os usuários dos órgãos poderiam utilizar *smartphones*, com voz integrada ao atual sistema LMR, possibilitando integração de grupos de comunicação e aplicações específicas para segurança pública através de aplicativo.

Entre os *smartphones* com licença para uso do aplicativo, teriam viabilidade de envio e recebimento de dados, imagens e vídeos em tempo real, além de aplicações específicas para segurança pública, utilizando a rede LTE das operadoras de telefonia celular.

Os sistemas em LMR já estão implantados nos órgãos, desta forma, a ação de melhoria na rede LMR não necessitaria de implantação de novas políticas públicas, processos ou sistemas, necessitando apenas de contrato de manutenção com os fabricantes, para fornecimento de peças e serviços necessários, assim como, planejamento de expansão das redes para locais com falhas de cobertura. Para o funcionamento do aplicativo, faz-se necessária aquisição de servidor e das licenças de uso.

A diferença para o cenário 1, deve-se a necessidade da aplicação de processos específicos que viabilizem a operação da rede híbrida, processos estes que podem ser adotados de outros países, que já estão em fase adiantada de implantação da rede híbrida, como, por exemplo, o México, bem como, a criação de um modelo de governança específico para o Brasil.

- Cenário 2: Limitações atuais no Brasil e proposição de soluções.

Para este cenário, devem ser avaliadas questões referentes a proteção dos dados, em virtude da utilização de redes públicas de telefonia celular. Além da verificação da disponibilidade de utilização de aplicativo com criptografia robusta, acima da criptografia das operadoras de telefonia. Do lado da rede LMR, a criptografia já é inerente ao sistema de CC.

Este cenário viabiliza, em parte, o atendimento das aspirações exibidas no Apêndice A, pois, apenas a funcionalidade de voz estaria integrada aos atuais sistemas LMR. A rede LTE utilizada seria a das operadoras comerciais, sem prioridade para os usuários advindos dos órgãos de segurança pública, portanto, enfrentando possíveis problemas de congestionamento de tráfego em situações críticas, onde as comunicações destas forças de segurança devem funcionar de qualquer forma.

Ou seja, as comunicações utilizando apenas as redes LMR continuam como comunicação crítica, contudo, as comunicações através das redes LTE das operadoras não seriam de missão crítica.

Para este cenário, como proposição de redução da vulnerabilidade, em virtude de possível indisponibilidade do sistema em situações de alto tráfego, os especialistas sugerem a adoção de políticas públicas que priorizem o uso dos equipamentos advindos das forças de segurança, com relação aos demais usuários da rede LTE convencional.

8.3.2.3 Cenário 3: Implantação de uma rede única LTE para CC

Trata-se de inovação de ruptura, pode-se verificar que as ações desejadas, elencadas no Apêndice A, são atendidas em grande parte pela nova tecnologia. Como também, pela aplicação de processos específicos que viabilizem a implantação da rede única.

Este cenário possibilita uma solução ampla, englobando todas as necessidades mapeadas no Quadro 18. Tal rede poderia ser capaz de disponibilizar mais informações para os agentes que estão em campo, através de funcionalidades como: transmissão de vídeos em tempo real; consultas a banco de dados com informação de indivíduos, veículos, mandados de prisão, etc.; uso de *tablets* e *smartphones* com sistemas embarcados com aplicações específicas para a polícia; reconhecimento de placas de carros através das câmeras, com envio da leitura destas placas para base de dados e verificação se existe alguma queixa de furto ou roubo; integração de dispositivos IP como câmeras, drones, etc.; utilização de *video intelligence*; entre outras.

- Cenário 3: Necessidades para viabilização da implantação

Os processos que viabilizem a adoção da tecnologia, podem ser baseados em processos já utilizados em outros países, que estejam em fase adiantada de implantação da rede única LTE, bem como, através da criação de um modelo de governança específico para o Brasil. Os EUA e Reino Unido podem ser utilizados como referência de processo para adoção, devido ao grau de adiantamento de implantação da rede.

- Cenário 3: Limitações atuais no Brasil e proposição de soluções

Com relação à integração, para que esta ocorra, o primeiro passo é existir vontade dos órgãos de utilizarem a mesma infraestrutura, não precisa necessariamente utilizar o mesmo sistema, pode ser um compartilhamento de infraestrutura, através de um investimento único, como, por exemplo, a mesma torre para todos os órgãos. Com a utilização de uma única rede, os recursos financeiros são destinados para a mesma rede, tornando mais barato a solução. Sistemas diferentes para diferentes forças, implicam em desperdício de recursos públicos.

Esta rede única deve possuir uma gerência central, responsável pela manutenção e gestão e, de preferência, que não seja um órgão de segurança pública e sim um órgão que sua expertise seja comunicação e tecnologia. Apesar de uma gerência central, todos os órgãos

públicos teriam participação na gestão desta rede, com poderes e responsabilidades sobre sua gestão, manutenção, operação, planejamento da expansão e atualização.

- Cenário 3: vantagens e desvantagens para o modelo proposto

A implantação de uma rede LTE para CC é uma oportunidade para os órgãos utilizarem uma única rede, com grande capacidade de transmissão de dados. Os recursos físicos da rede podem ser compartilhados e mesmo assim haver separação de organizações, com comunicações e gerência de grupos e terminais controlados pelos órgãos. Ou seja, um órgão não teria acesso à rede de outro órgão e, em situações previamente definidas, poderia haver troca de dados, informações e, até mesmo, comunicação em um mesmo grupo.

Uma importante questão a considerar é a economia de escala, proporcionada pela utilização de ERBs, sistema irradiante e terminais (*smartphones*), similares aos utilizados pelas operadoras comerciais de telefonia celular. Além da facilidade em desenvolver aplicativos para plataforma *android* e iOS, que atendam uma demanda específica de determinada delegacia.

Esta rede em banda larga pode prover integração de inteligência artificial ao sistema, possibilitando análise de vídeos com reconhecimento facial e de placas de veículos, integrados à base de dados, como, por exemplo, pessoas procuradas e veículos roubados, entre outras aplicações.

Além da visualização das imagens de câmeras conectadas ao sistema, através do rádio e/ou *smartphone*, como, por exemplo, uma câmera instalada no aeroporto, ou até mesmo, no uniforme do agente de segurança pública (*bodycam*), provendo transparência na atuação policial e maior segurança para o próprio agente.

Outros exemplos de aplicação em banda larga, são: gerenciamento de sistemas inteligentes via rádio, como, por exemplo, controle de semáforos e posicionamento de câmeras; possibilidade de monitoramento de localidades através da CC, por exemplo, as câmeras detectam uma situação de perigo, através do processamento da informação, o próprio sistema dispara um alerta automaticamente para o policial mais próximo do local que possui uma atividade suspeita.

Seria aumentar a disponibilidade de banda para fazer controles a distância de máquinas que utilizem inteligência artificial, em situações onde o volume de informações para ser processado é muito grande, com interoperabilidade de sistemas e elementos da cidade, como semáforos e câmeras. Portanto, modernização da atuação da segurança pública para o cenário de *smart city*, com órgãos operando com interoperabilidade aos diversos meios como, por exemplo, energia e trânsito.

Outro ponto importante, seria a satisfação dos usuários da rede, com atendimento das demandas descritas no quadro ‘aspirações e desejos’ no Apêndice A. Além da possibilidade da utilização de rádios com *smartphones* integrados, adaptados para os diversos cenários de utilização em CC, desde equipamentos a prova d’água, até *smartphones* discretos com botão PTT de fácil acesso, além dos atuais *smartphones* disponíveis no mercado.

Contudo, faltam leis e regulamentos no Brasil que especifique para que órgão será atribuída esta faixa frequência e como serão as regras de utilização. Por exemplo, quem será o gestor da rede; como será a manutenção; como será a adesão por parte dos órgãos; entre outros.

No entanto, atualmente, diversos países estão em fase de implantação da rede LTE para CC, seja através de rede dedicada, ou por meio da rede híbrida, desta forma, como estratégia para resolução da falta de políticas públicas, pode-se adotar processos já existentes em locais de referência, como também, aproveitar parte dos modelos adotados por estes países e desenvolver algo específico para o Brasil.

No Quadro 18 é exibido a comparação entre os cenários reais e o ideal, para os 17 pontos principais para análise, de acordo com os especialistas.

Quadro 18 – Cenários capazes de atender a ação desejada (rede ideal).

Cenários que atendem	Ação desejada para um cenário ideal
3 e parcialmente 2	Interoperabilidade e integração entre órgãos, com mais informações disponíveis para os agentes que estão em campo com consulta a banco de dados.
3	Transmissão de imagens em tempo real com alta resolução.
2 e 3	Tecnologia em banda larga integrada ao atual sistema de rádio LMR com uso de <i>tablets</i> e <i>smartphones</i> com sistemas embarcados, viabilizando o desenvolvimento e uso de aplicativos para pesquisas em base de dados de informação de indivíduos, veículos, mandados de prisão e qualquer outro sistema que agilize a atuação policial.
3	Reconhecimento de placas veiculares através das câmeras das companhias de trânsito das prefeituras, com envio da leitura destas placas para base de dados das polícias para verificação se existe alguma queixa de furto ou roubo deste veículo, com resposta para os policiais sobre o <i>status</i> dos veículos.
3 e parcialmente 2	Reestruturação e modernização dos sistemas de comunicação atuais.
3 e parcialmente 2	Sistema que atenda a especificidade de todos os órgãos de segurança.
3	Implantação de um sistema único ou rede única.
1,2 e 3	Existência de especialistas na área dentro dos órgãos para propor inovações e dar parecer técnico sobre a implantação de uma nova tecnologia.
1,2 e 3	Doutrina para o usuário entender a importância do rádio e utilizar corretamente o sistema.
3	Criação de uma rede única para as forças de segurança que se comunique com um centro integrado de comando e controle (CICCR), através de um planejamento prévio com protocolos bem definidos de como implantar e operar a rede; de quais forças poderiam utilizar; em que situação deve-se integrar a comunicação dos órgãos; quais canais podem ser integrados; quais cadeias de comando devem ser obedecidas; como se daria o gerenciamento de grupos de comunicação e usuários por parte dos órgãos.

3 e parcialmente 2	Renovação da tecnologia utilizada atualmente pelos órgãos de segurança, viabilizando integração entre as forças não apenas de voz, como acontece atualmente com os sistemas LMR, mas com voz, vídeo e dados, com qualidade, segurança e integridade.
1, 2 e 3	Elaboração e execução de políticas públicas que viabilize e operacionalize a integração e interoperabilidade da comunicação entre os órgãos de segurança.
3 e parcialmente 2	Bateria dos equipamentos portáteis com maior duração de uso e uma melhor relação potência de transmissão ponto a ponto versus tamanho da bateria.
3	Uso de inteligência artificial
3	Gerenciamento de sistemas inteligentes via rádio, como, por exemplo, controle de semáforos. Cidades que possam ser monitoradas através da comunicação crítica, por exemplo, as câmeras detectam uma situação de perigo, através do processamento da informação e o próprio sistema dispara um alerta. Em resumo, <i>Smart City</i> com órgãos operando com interoperabilidade aos diversos meios como, por exemplo, energia e trânsito.
3	Traferir dados, voz e vídeo em uma única base de dados, trafegando em banda larga, possibilitando que as agências compartilhem informações.
1,2 e 3	Que as secretarias de planejamento e segurança dos estados e federação só liberem recursos financeiros para investimento em sistemas de rádio se realmente forem de missão crítica e apenas em uma rede que todos os órgãos de segurança pública do estado possam utilizar. Por exemplo: a Polícia Militar mostra um projeto que pode envolver também a Polícia Civil e Bombeiros, deve-se então ser um sistema de missão crítica e deve-se comprovar tecnicamente porque esta é a melhor opção, desta forma, o órgão recebe o recurso para compra de uma rede de comunicação. Ou seja, embasamento técnico e econômico, de preferência, através de uma rede única, para obedecer ao princípio da economicidade.

Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados das entrevistas.

Para pontuação dos cenários, considerou-se atendimento=1 e atendimento parcial=0,5.

Desta forma tem-se:

- **Cenário 1: 4 pontos, equivalente a 23,53% de atendimento.**
- **Cenário 2: 7,5 pontos, equivalente a 44,12% de atendimento.**
- **Cenário 3: 17 pontos, equivalente a 100% de atendimento.**

8.3.3 Medições da percepção dos usuários

Esta medição é realizada para no momento da escolha de uma determinada tecnologia, poder-se optar pela que seja mais “amigável” e eficiente para o usuário, sendo estes parâmetros de percepção do usuário, advindos de conceitos de Usabilidade e *User Experience* (UX).

8.3.3.1 Metodologia aplicada para dimensão usuários em sistemas LMR

Para a realização do procedimento experimental foram aplicados 3 métodos de avaliação do produto, sendo um baseado em especialista e os outros dois baseados no usuário. A aplicação

destes métodos objetiva a coleta de dados para uma posterior análise a respeito das impressões acerca da usabilidade do produto.

A avaliação foi desenvolvida em duas partes: uma avaliação baseada em especialista, considerando os parâmetros de Jordan (1998), e duas avaliações baseadas em usuário, através da aplicação de teste de usabilidade com protocolo pensar alto e questionário SUS. A avaliação foi realizada através dos recursos: participantes, ambiente adequado e equipamentos para realização dos testes.

Participantes

Para a realização do experimento foram selecionados 15 participantes com idade entre 18 e 60 anos que fossem usuários frequentes de rádios digitais para CC, mas não especialistas. Os testes em rádio TETRAPOL, foram realizados com 5 servidores da PF; os testes em rádio TETRA, foram realizados com 5 servidores da PRF; os testes em rádio APCO 25, foram realizados com 5 servidores do exército. Esta segmentação deve-se aos sistemas de CC, utilizados pelos PF, PRF e exército, serem respectivamente, TETRAPOL, TETRA e APCO25.

Ambiente e equipamentos para aplicação do teste

A aplicação do experimento ocorreu em local fechado (*indoor*), com o nível de sinal recebido pela ERB servidora da região maior ou igual a -80dBm, garantindo, desta forma, a qualidade de serviço necessária para que os rádios conseguissem se registrar na estação, bem como, efetuar chamadas pelos grupos de comunicação.

Para a aplicação dos testes, foram utilizados os rádios de comunicação avaliados, referentes aos sistemas TETRAPOL, TETRA e APCO 25, e de propriedade dos órgãos PF, PRF e Exército, respectivamente, que os cederam para realização dos testes de usabilidade. Além de uma câmera de vídeo; bloco de notas; e os formulários com os questionários.

Procedimentos

Para a avaliação baseada no usuário, foi aplicado protocolo pensar alto durante a execução de tarefas definidas, seguida de aplicação de questionário SUS para coleta de impressões sobre a utilização do produto.

Ao início do procedimento, cada participante recebeu uma breve explicação sobre a pesquisa e foi convidado a responder a um questionário para coleta de informações pessoais, além de assinar um termo de ciência de participação em pesquisa científica, para utilização das respostas para o desenvolvimento da pesquisa, sem a identificação dos dados pessoais dos entrevistados, termo do Apêndice E.

Concluída esta etapa, foram convidados individualmente a realizar cada uma das quatro tarefas em sequência. As tarefas definidas para os testes estão listadas abaixo, estas ações foram validadas em forma de pré-teste com especialistas em CC.

- 1) Com o rádio já ligado, o usuário deve selecionar um grupo de comunicação (modo trunking - TMO);
- 2) Com o rádio já ligado, o usuário deve selecionar o modo ponto a ponto (DMO);
- 3) Com o rádio já ligado, o usuário deve selecionar um canal no modo tático (repetidor);
- 4) O usuário deve verificar o nível de carga da bateria do rádio.

Durante a aplicação do teste, os usuários foram filmados enquanto executavam as tarefas realizadas diretamente no produto (sem utilização da *interface* de um computador), enquanto o pesquisador observava o usuário de modo não invasivo, procurando deixá-lo à vontade e enfatizando que o produto é o foco da avaliação e não o participante do teste.

Verbalizações foram estimuladas através de perguntas feitas pelo pesquisador presente, incluindo perguntas abordando os princípios de usabilidade de Jordan (1998), com o objetivo de coletar mais impressões que eventualmente não foram relatadas.

Após o teste foi aplicado o questionário SUS, para coletar informações mensuráveis sobre as impressões do usuário, relacionadas à utilização do produto.

- Resultados

Considerando os 10 princípios de Usabilidade definidos por Jordan (1998), foram realizadas avaliações dos rádios em LMR, os resultados são apresentados no Quadro 19.

Quadro 19 – Avaliação através dos conceitos de Jordan.

1) Consistência: projetar um produto de maneira que as tarefas similares sejam feitas de maneiras similares.	
Consistência Rádio TETRAPOL, modelo TPH700, fabricante AIRBUS	
Avaliação do especialista	Avaliação dos participantes
A forma e os botões do rádio apresentam similaridade com tarefas já desenvolvidas pelos usuários. O botão ligar/desligar é de fácil localização e identificação e é o mesmo que faz a comutação dos modos de operação do rádio. Todos os usuários relataram que há muita similaridade com outro equipamento já usado por eles (ex.: <i>Walk Talk</i> , celulares mais antigos, outros rádios que já usou). As modificações das configurações executadas no rádio são identificadas no <i>display</i> , que apresenta localização de destaque, de fácil manuseio e identificação.	Em sua maioria, os participantes consideraram a forma de operar o equipamento fácil e intuitiva, os cinco usuários identificaram componentes similares aos que já conheciam em outros produtos.
Consistência Rádio TETRA, modelo MTP 3250, fabricante Motorola	
Comentário igual ao do rádio TETRAPOL, TPH 700, AIRBUS	Em sua maioria, os participantes consideraram a forma de operar o equipamento fácil e intuitiva, quatro dos

	cinco usuários identificaram componentes similares aos que já conhecia em outro produto (celulares antigos e rádios analógicos).
Consistência Rádio APCO 25, modelo APX 2000 sem DTMF, fabricante Motorola	
Comentário igual ao do rádio TETRAPOL, TPH 700, AIRBUS	A maioria dos participantes considerou a forma de operar o equipamento fácil e intuitiva, apenas um usuário identificou componentes similares aos que já conhecia em outro produto. O restante afirmou nunca ter usado nada parecido anteriormente.
2) Compatibilidade: projetar um produto de maneira que seu método de operação seja compatível com a expectativa do usuário baseado no conhecimento de outros tipos de produtos e do mundo real.	
Compatibilidade Rádio TETRAPOL, modelo TPH700, fabricante AIRBUS	
Compatibilidade Rádio TETRA, modelo MTP 3250, fabricante Motorola	
O método de operação do produto se mostrou compatível com expectativas baseadas no conhecimento do “mundo exterior” do usuário, todos os usuários afirmam ter operado equipamentos com similaridade que os ajudassem a utilizar o equipamento, observou-se que os comandos foram realizados com facilidade.	Todos afirmaram que o método de operação era compatível com suas expectativas.
Compatibilidade Rádio APCO 25, modelo APX 2000 sem DTMF, fabricante Motorola	
Avaliação do especialista: o método de operação do produto se mostrou não compatível com expectativas baseadas no conhecimento do “mundo exterior” do usuário, a maioria dos usuários afirmou não ter operado equipamentos com similaridades que os ajudassem a utilizar o equipamento avaliado, apesar disto, observou-se que os acionamentos dos comandos foram realizados com certa facilidade.	Todos afirmaram que o método de operação era compatível com suas expectativas.
3) Considerações dos recursos dos usuários: deve-se considerar a demanda das habilidades do usuário, requeridas durante a interação.	
Considerações dos recursos do usuário Rádio TETRAPOL, modelo TPH700, fabricante AIRBUS	
A usabilidade do produto considera as demandas dos recursos dos usuários durante a interação, acionando seus sentidos de modo compatível ao esperado. Sons indicando o acionamento de operações, movimentos e travas durante o manuseio são exemplos disto, verificados no rádio avaliado.	Perceberam e consideraram úteis os recursos sensitivos no produto. Recursos como luzes indicando acionamento e sinais sonoros (bateria com carga baixa), bem como o status indicado no <i>display</i> a atual configuração e modo de operação do equipamento. Um dos usuários observou que um ponto ruim é que para se entrar no modo direto, partindo do modo rede, torna-se necessário encerrar o modo atual.
Considerações dos recursos do usuário Rádio TETRA, modelo MTP 3250, fabricante Motorola	
Comentário igual ao do rádio TETRAPOL, TPH 700, AIRBUS	Perceberam e consideraram úteis os recursos sensitivos no produto. Recursos como luzes indicando acionamento e sinais sonoros (bateria com carga baixa), bem como o status indicado no <i>display</i> a atual configuração e modo de operação do equipamento. Outros exemplos foram citados pelos usuários, ex.: símbolos indicando o modo <i>Trunking</i> , o modo <i>Gateway</i> com indicação de ícone com o símbolo de uma torre no <i>display</i> .
Considerações dos recursos do usuário Rádio APCO 25, modelo APX 2000 sem DTMF, fabricante Motorola	
Comentário igual ao do rádio TETRAPOL, TPH 700, AIRBUS	Perceberam e consideraram úteis os recursos sensitivos no produto. Recursos como luzes indicando acionamento e sinais sonoros (bateria com carga baixa), bem como, o <i>status</i> indicado no <i>display</i> da atual

	configuração e modo de operação do equipamento. Foi reportado também que quando o rádio está fora de alcance no modo troncalizado há indicação sonora e também no <i>display</i> .
4) <i>Feedback</i> : as ações realizadas pelo usuário devem ser reconhecidas e uma indicação significativa seja dada sobre os resultados dessas ações.	
<i>Feedback</i> Rádio TETRAPOL, modelo TPH700, fabricante AIRBUS	
<i>Feedback</i> Rádio TETRA, modelo MTP 3250, fabricante Motorola	
<i>Feedback</i> Rádio APCO 25, modelo APX 2000 sem DTMF, fabricante Motorola	
A <i>interface</i> do rádio fornece <i>feedbacks</i> claros sobre as ações que o usuário realiza ou para consequências de ações e respostas com a indicação no <i>display</i> e os sons emitidos indicando acionamento de comandos ou andamento de operações demonstram que há um bom <i>feedback</i> .	Identificaram respostas claras do produto sobre as ações executadas e ainda afirmaram ser de fácil manuseio e diagnóstico do resultado esperado.
5) Prevenção e recuperação de erros: a probabilidade de erro deve ser minimizada e, sendo assim, se os erros realmente ocorrerem, que sejam recuperados de forma rápida e fácil.	
Prevenção e recuperação de erros Rádio TETRAPOL, modelo TPH700, fabricante AIRBUS	
Possibilidades de erro minimizadas e alternativas de recuperação identificadas através de informações no <i>display</i> como avisos de erro e indicação do modo de operação esperado. Um dos usuários não soube configurar o modo rede e o outro atalho não foi explorado para que a configuração fosse executada.	4 dos 5 participantes conseguiram finalizar as tarefas satisfatoriamente e com poucas tentativas. A indicação do modo de operação no <i>display</i> foi apontada com uma boa forma de prevenção de erros, pois, o usuário é informado sobre qual funcionalidade está ativa, evitando, desta forma, tentativas de uso de funções não disponíveis para aquele modo.
Prevenção e recuperação de erros Rádio TETRA, modelo MTP 3250, fabricante Motorola	
Possibilidades de erro minimizadas e alternativas de recuperação identificadas através de informações no <i>display</i> como avisos de erro e indicação do modo de operação esperado. No modo <i>gateway</i> não é possível identificar se a repetidora está conectada, só é possível identificar se está operando neste modo após o estabelecimento da conversa. Apenas um usuário não conseguiu configurar o modo <i>Gateway</i> , verificou-se que apesar de saber operar o rádio com segurança, desconhecia este modo de operação.	4 dos 5 participantes conseguiram finalizar as tarefas satisfatoriamente e com poucas tentativas.
Prevenção e recuperação de erros Rádio APCO 25, modelo APX 2000 sem DTMF, fabricante Motorola	
Possibilidades de erro minimizadas e alternativas de recuperação de forma rápida e fácil identificadas através de informações no <i>display</i> , como avisos de erro e indicação exata do modo de operação esperado, além da emissão de alerta como sinal sonoro para indicar que a repetidora está ocupada, o que contribui para prevenir e recuperar erros na operação do produto.	Todos os participantes conseguiram finalizar as tarefas satisfatoriamente e com poucas tentativas, as indicações apresentadas auxiliam na prevenção dos erros, contudo, os usuários se queixaram da falta de indicação se o rádio está registrado no repetidor tático, sendo necessário pressionar o PTT para realizar uma comunicação e aguardar <i>feedback</i> de algum outro usuário sobre a efetivação da comunicação, portanto, apenas com os recursos disponíveis no rádio, não é possível saber se a repetidora está ativa.
6) Controle do usuário: o usuário deve ter o máximo controle possível de suas ações tomadas no produto.	
Controle do usuário Rádio TETRAPOL, modelo TPH700, fabricante AIRBUS	
Controle do usuário Rádio TETRA, modelo MTP 3250, fabricante Motorola	
Controle do usuário Rádio APCO 25, modelo APX 2000 sem DTMF, fabricante Motorola	
Botões de ajustes do equipamento, bem como as indicações no <i>display</i> , facilitam o controle do usuário. O menu de navegação do rádio ajuda a maximizar o desempenho do produto e oferece ao usuário controle sobre suas ações.	Afirmaram sentir ter controle das ações e ajustes que precisaram executar durante as tarefas.

7) Clareza visual: a informação apresentada deve ser lida de forma rápida e fácil, sem causar confusão no usuário.	
Clareza visual Rádio TETRAPOL, modelo TPH700, fabricante AIRBUS	
Boa parte das informações fornecidas pelo produto são lidas de forma fácil e rápida. O <i>display</i> é de fácil leitura, com legibilidade de textos, bom uso de contraste e iluminação, além da utilização de ícones, o que torna sua operação simples e intuitiva. O adequado posicionamento das informações também contribui para esta clareza.	Todos consideraram as informações fornecidas pelo produto de fácil acesso e rápido entendimento.
Clareza visual Rádio TETRA, modelo MTP 3250, fabricante Motorola	
Comentário igual ao do rádio TETRAPOL, TPH 700, AIRBUS. Apenas uma observação de um usuário quanto ao uso do modo <i>Gateway</i> , observou-se que apesar de ser de fácil acesso e configuração, o mesmo desconhecia o modo de operação.	Todos consideraram as informações fornecidas pelo produto de fácil acesso e rápido entendimento.
Clareza visual Rádio APCO 25, modelo APX 2000 sem DTMF, fabricante Motorola	
Comentário igual ao do rádio TETRAPOL, TPH 700, AIRBUS	Todos consideraram as informações fornecidas pelo produto de fácil acesso e rápido entendimento.
8) Priorização de funcionalidade e informação: a funcionalidade e as informações mais importantes devem ser facilmente acessadas pelo usuário.	
Priorização de funcionalidade e informação Rádio TETRAPOL, modelo TPH700, fabricante AIRBUS	
Priorização de funcionalidade e informação Rádio TETRA, modelo MTP 3250, fabricante Motorola	
Priorização de funcionalidade e informação Rádio APCO 25, modelo APX 2000 sem DTMF, fabricante Motorola	
As funções e informações mais importantes estão de fácil acesso para o usuário, apresentando destaque e hierarquia, como observados no posicionamento e dimensão no botão ligar/desligar e na forma e posicionamento do <i>display</i> .	Todos afirmaram que as principais funções e informações do produto são de fácil acesso, com prioridades das principais ações.
9) Transferência de tecnologia: deve-se usar adequadamente as tecnologias desenvolvidas para outros contextos para aumentar a usabilidade do produto em questão.	
Transferência de tecnologia Rádio TETRAPOL, modelo TPH700, fabricante AIRBUS	
Na CC faz-se necessária a presença de tecnologias desenvolvidas em outro contexto, integrando funções de comunicação segura; serviço de localização (GPS), com monitoramento online de membros de uma equipe; <i>bluetooth</i> . O rádio avaliado possui criptografia inerente ao sistema TETRAPOL, através de 13 chaves criptográficas inerentes ao sistema, além da possibilidade de ativação de uma 14ª chave, configurada e ativada pelo usuário, denominada no rádio como super criptografia, o que possibilita que uma determinada equipe utilize criptografia acima da oferecida pela rede. O modelo avaliado não possui GPS integrado, sendo necessário acoplar um acessório ao rádio e utilizar a plataforma de serviços da Airbus para geolocalização, denominada AVL, contudo, este sistema está atualmente desativado no órgão em que foi realizada a avaliação. O rádio possui <i>bluetooth</i> , permitindo, por exemplo, a conexão de fone de ouvido de outros fabricantes, encontrados facilmente no mercado.	Consideraram satisfatório o uso de tecnologias originárias de outros produtos. Foram sugeridos maior alcance nas comunicações no modo direto e integração do GPS ao rádio.
Transferência de tecnologia Rádio TETRA, modelo MTP 3250, fabricante Motorola	
Na CC faz-se necessária a presença de tecnologias desenvolvidas em outro contexto, integrando funções de comunicação segura; serviço de localização (GPS), com monitoramento online de membros de uma equipe;	Consideraram satisfatório o uso de tecnologias originárias de outros produtos. Foram citados o GPS integrado ao rádio, a comunicação criptografada fim-a-fim, a possibilidade de conectividade <i>bluetooth</i> , a

<i>bluetooth</i> . Além destas, outras tecnologias poderiam ter sido empregadas para contribuir com a usabilidade do produto. Um dos usuários afirma que seria muito importante que o rádio avaliado fizesse o envio de imagens e vídeos.	integração com telefones celulares e envio de mensagens de texto. Destacaram a necessidade de integração <i>online</i> a base de dados específicas e envio de imagens, vídeos e arquivos.
Transferência de tecnologia Rádio APCO 25, modelo APX 2000 sem DTMF, fabricante Motorola	
Na CC faz-se necessária a presença de tecnologias desenvolvidas em outro contexto, integrando funções de comunicação segura; serviço de localização (GPS), com monitoramento <i>online</i> de membros de uma equipe; <i>bluetooth</i> . Além destas, outras tecnologias poderiam ter sido empregadas para contribuir com a usabilidade do produto. Um dos usuários afirmou que seria muito importante que o rádio avaliado fizesse o envio de imagens e vídeos.	Consideraram satisfatório o uso de tecnologias originárias de outros produtos. Foram citados o GPS integrado ao rádio, a comunicação criptografada fim-a-fim, a possibilidade de conectividade <i>bluetooth</i> , o <i>scanner</i> da faixa de frequência utilizada e a possibilidade de enviar mensagem de texto.
Clareza: produto deve conter indícios de como ele funciona e o método para operá-lo.	
Clareza Rádio TETRAPOL, modelo TPH700, fabricante AIRBUS	
Clareza Rádio TETRA, modelo MTP 3250, fabricante Motorola	
Clareza Rádio APCO 25, modelo APX 2000 sem DTMF, fabricante Motorola	
O produto avaliado, apesar de não fornecer dicas de sua funcionalidade e método de operação, demonstra ter sua utilização intuitiva. Todos os comandos executados pelos usuários foram narrados de forma objetiva e clara.	Todos relataram que a utilização do produto se deu de forma intuitiva.

Fonte: Elaboração própria.

Os testes de usabilidade foram realizados através do protocolo pensar alto, que consistiu na realização das 4 tarefas executadas diretamente na *interface* do produto, além do questionário SUS, aplicado logo após o teste de usabilidade. Os resultados dos questionários SUS são exibidos nas Tabelas 5, 6 e 7.

Tabela 5 – Resultado SUS para rádio TETRAPOL, TPH 700, AIRBUS.

USUÁRIOS	PERG 1	PERG 2	PERG 3	PERG 4	PERG 5	PERG 6	PERG 7	PERG 8	PERG 9	PERG 10	
USUÁRIO 1	5	1	5	2	4	2	4	1	5	1	
USUÁRIO 2	4	1	5	1	3	2	4	1	4	1	
USUÁRIO 3	5	1	4	3	4	2	4	1	5	1	
USUÁRIO 4	5	2	5	4	4	1	4	1	5	2	
USUÁRIO 5	5	2	4	3	4	2	4	1	5	2	
Valores Convertidos											
	PERG 1	PERG 2	PERG 3	PERG 4	PERG 5	PERG 6	PERG 7	PERG 8	PERG 9	PERG 10	SOMA
USUÁRIO 1	4	4	4	3	3	3	3	4	4	4	36
USUÁRIO 2	3	4	4	4	2	3	3	4	3	4	34
USUÁRIO 3	4	4	3	2	3	3	3	4	4	4	34
USUÁRIO 4	4	3	4	1	3	4	3	4	4	3	33
USUÁRIO 5	4	3	3	2	3	3	3	4	4	3	32
Valores entre 0 e 100											
	PERG 1	PERG 2	PERG 3	PERG 4	PERG 5	PERG 6	PERG 7	PERG 8	PERG 9	PERG 10	SOMA
USUÁRIO 1											90
USUÁRIO 2											85
USUÁRIO 3											85
USUÁRIO 4											82,5
USUÁRIO 5											80
Valor Médio	84,5										

Fonte: Elaboração própria a partir do questionário SUS aplicado.

Tabela 6 – Resultado SUS para rádio TETRA, MTP 3250, Motorola.

USUÁRIOS	PERG 1	PERG 2	PERG 3	PERG 4	PERG 5	PERG 6	PERG 7	PERG 8	PERG 9	PERG 10	
USUÁRIO 1	5	1	5	1	5	2	5	1	5	1	
USUÁRIO 2	4	1	5	4	4	1	5	2	5	2	
USUÁRIO 3	4	2	5	1	5	2	5	1	4	3	
USUÁRIO 4	4	1	4	4	4	2	4	2	4	2	
USUÁRIO 5	5	1	5	4	5	2	5	1	5	1	
Valores Convertidos											
	PERG 1	PERG 2	PERG 3	PERG 4	PERG 5	PERG 6	PERG 7	PERG 8	PERG 9	PERG 10	SOMA
USUÁRIO 1	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	39
USUÁRIO 2	3	4	4	1	3	4	4	3	4	3	33
USUÁRIO 3	3	3	4	4	4	3	4	4	3	2	34
USUÁRIO 4	3	4	3	1	3	3	3	3	3	3	29
USUÁRIO 5	4	4	4	1	4	3	4	4	4	4	36
Valores entre 0 e 100											
	PERG 1	PERG 2	PERG 3	PERG 4	PERG 5	PERG 6	PERG 7	PERG 8	PERG 9	PERG 10	SOMA
USUÁRIO 1											97,5
USUÁRIO 2											82,5
USUÁRIO 3											85
USUÁRIO 4											72,5
USUÁRIO 5											90
Valor Médio	85,5										

Fonte: Elaboração própria a partir do questionário SUS aplicado.

Tabela 7 – Resultado SUS para rádio APCO25, APX 2000 sem DTMF, Motorola.

USUÁRIOS	PERG 1	PERG 2	PERG 3	PERG 4	PERG 5	PERG 6	PERG 7	PERG 8	PERG 9	PERG 10	
USUÁRIO 1	5	2	5	1	5	1	5	1	5	1	
USUÁRIO 2	5	1	5	3	4	1	5	1	5	1	
USUÁRIO 3	5	1	5	1	5	1	2	1	5	3	
USUÁRIO 4	5	3	5	4	4	2	4	1	5	4	
USUÁRIO 5	5	2	4	3	4	2	5	2	5	5	
Valores Convertidos											
	PERG 1	PERG 2	PERG 3	PERG 4	PERG 5	PERG 6	PERG 7	PERG 8	PERG 9	PERG 10	SOMA
USUÁRIO 1	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	39
USUÁRIO 2	4	4	4	2	3	4	4	4	4	4	37
USUÁRIO 3	4	4	4	4	4	4	1	4	4	2	35
USUÁRIO 4	4	2	4	1	3	3	3	4	4	1	29
USUÁRIO 5	4	3	3	2	3	3	4	3	4	0	29
Valores entre 0 e 100											
	PERG 1	PERG 2	PERG 3	PERG 4	PERG 5	PERG 6	PERG 7	PERG 8	PERG 9	PERG 10	SOMA
USUÁRIO 1											97,5
USUÁRIO 2											92,5
USUÁRIO 3											87,5
USUÁRIO 4											72,5
USUÁRIO 5											72,5
Valor Médio	84,5										

Fonte: Elaboração própria a partir do questionário SUS aplicado.

Efetuada os cálculos necessários, obtive-se os **valores médios para o SUS SCORE de: 84,5 pontos para o rádio TETRAPOL TPH700; 85,5 pontos para o rádio TETRA MTP 3250; e 84,5 pontos para o rádio APCO25 APX 2000 (sem DTMF).**

Através da aplicação do questionário SUS, foi possível classificar a facilidade de uso do produto, de acordo com a avaliação dos usuários consultados, após o teste de usabilidade.

Tomando por referência o valor médio de 68 pontos no SUS SCORE, onde valores acima de 68 indicam uma boa usabilidade e valores abaixo de 50 indicam usabilidade ruim, pode-se concluir que todos os produtos avaliados apresentaram alto desempenho nos testes aplicados.

Com relação aos conceitos de Jordan (1998), estes podem ser utilizados para uma análise mais detalhada dos produtos. Entre os rádios verificados, os resultados foram próximos.

8.3.3.2 Metodologia aplicada para dimensão usuários em sistemas LTE

O sistema LTE ainda não é utilizado oficialmente pelas forças de segurança pública e defesa no Brasil, por isto, por padronização, recomenda-se que os testes com rádios LTE, também sejam realizados com 5 servidores da PF, 5 da PRF e 5 do exército, com idade entre 18 e 60 anos, que sejam usuários frequentes de rádios digitais para comunicação crítica, mas não especialistas.

Por falta de disponibilidade de equipamentos LTE e de redes em funcionamento, esta avaliação é recomendada para estudos futuros.

Recomenda-se que além das técnicas e métodos utilizados para os equipamentos em LMR, para os *smartphones* e rádios que utilizarem o aplicativo para conexão à rede híbrida ou rede LTE dedicada para CC, sejam realizadas as avaliações heurísticas de Nielsen, conforme descrito anteriormente, pois, esta técnica é bastante utilizada na atualidade por empresas que desenvolvem e testam aplicativos, no intuito de avaliar UX e usabilidade.

8.3.4 Medições das empresas privadas

Considerando os dados apresentados nas seções anteriores sobre as tecnologias e cenários, e as oito perguntas apresentadas na seção 6.3.1, oito é a pontuação máxima obtida para uma empresa avaliada, equivalente a 100%. Desta forma, para os cenários estudados, tem-se as seguintes pontuações:

Cenário 1:

- **TETRAPOL em 450Mhz: 1,2 = 15%**
- **TETRAPOL em 380MHz: 2,2 = 27,5%**
- **APCO 25 em 380MHz: 4,4 = 55%**
- **TETRA em 380MHz: 5,0 = 62,5%**

Cenário 2:

- **TETRAPOL em 450Mhz + LTE: 2,2 = 27,5%**
- **TETRAPOL em 380Mhz + LTE: 3,2 = 40%**
- **APCO 25 em 380MHz + LTE: 5,4 = 67,5%**

- **TETRA em 380MHz + LTE: 6,0 = 75%**

Cenário 3:

- **LTE: 5,6 = 70%**

8.3.5 Medições da percepção da segurança pública por parte da sociedade

Para isto, os parâmetros considerados são: os custos do crime e os custos para manutenção e implantação de uma rede de CC. Considerando os dados apresentados nos capítulos 6 e 7, foi realizado um levantamento dos custos das redes para cada cenário.

A comparação destes custos das redes, com as possíveis reduções nos custos dos crimes, é uma proposta para estudos futuros.

Desta forma, considerando os valores orçados para os cenários, dentro da análise de estudo de caso, considerando as taxas de câmbio em R\$ 4,2 para 1 Euro e R\$ 3,75 para 1 dólar, os valores orçados são resumidos a seguir, apresentados em valores percentuais, tendo a rede LTE com ERBs fixas e táticas como valor de referência, equivalente a 100%. Portanto, todos os preços apresentados referem-se a valores percentuais.

1) Cenário 1: Manutenção e atualização da atual rede TETRAPOL em 450MHz

15,60% para execução de 100% do contrato de manutenção total, e 5,9% para execução de 100% do contrato de manutenção reduzida, considerando para os dois casos, apenas as peças e serviços de fornecimento exclusivo do fornecedor do sistema TETRAPOL, através de contrato de inexigibilidade.

2) Cenário 1: Implantação rede TETRA em 380MHz, **59,23%**

3) Cenário 2: Atualização da rede TETRAPOL em 450MHz, híbrida com LTE, **16,31% para execução de 100% do contrato de manutenção total, e 6,62% para execução de 100% do contrato de manutenção reduzida**, considerando para os dois casos, apenas as peças e serviços de fornecimento exclusivo do fornecedor do sistema TETRAPOL, através de contrato de inexigibilidade.

4) Cenário 2: Migração da rede TETRAPOL para 380MHz, híbrida com LTE, **79,39%**.

5) Cenário 2: Migração para rede TETRA para 380MHz, híbrida com LTE, **59,94%**.

6) Cenário 3: Rede LTE **59,47% para uma cobertura similar à da atual rede TETRAPOL em modo troncalizado (TMO), e 100% para cobertura similar**

à da rede TETRAPOL modo TMO, mais cobertura da rede tática, através de 298 repetidoras.

7) Compartilhamento de rede com outros órgãos públicos

Para o estudo de caso, recomenda-se que também seja analisado, os custos referentes a um possível compartilhamento da rede com outro órgão federal que possua sistema de CC em âmbito nacional, por isto, na Figura 27, além das pontuações apresentadas nas seções anteriores, na caixa ‘sociedade’, foi inserido 2 itens para averiguação, sendo estes, os custos referentes para a migração para a rede da PRF e para a rede do Exército do Brasil (EB).

Estes custos dependem de um possível acordo de compartilhamento entre os órgãos, portanto, não foi possível neste trabalho, saber os custos para estes casos, porém, através dos levantamentos de cenários junto aos órgãos, realizados através das 28 perguntas da dimensão tecnologia, foi possível coletar várias informações, capazes de auxiliar no levantamento de custos e análise se estas redes atendem as necessidades da PF.

Estas informações não foram publicadas nesta dissertação por questões de segurança nacional, apenas um resumo é demonstrado abaixo.

Rede da PRF – Análise para possível compartilhamento

Principais vantagens:

Cobertura: atualmente 509 ERBs (+ 200 ERBs de parceiros), com instalação de mais ERBs, totalizando 1091 até 2022. Possuem 200 mil usuários.

Governança: equipamentos na frequência de 380MHz com licença de uso até 2033, prorrogável.

Garantia: os equipamentos ainda estão na fase de garantia. Após a garantia, pode-se fazer contrato de manutenção, com valor dividido entre os órgãos que utilizam a rede, sendo estes atualmente 7 SSPs, Departamento Penitenciário Nacional (DEPEN) e PRF (valor estimado por ERB é de R\$ 2.000 mensais), mais 5 SDSs estão em fase de negociação de convênio.

Concorrência e preço dos equipamentos: o sistema TETRA é o que possui maior número de fabricantes e o mais utilizado no mundo. Possui diversos modelos de aparelhos com variados fornecedores. Devido à concorrência, possui ampla faixa de preços dos equipamentos.

Planejamento e otimização da rede: a PRF possui *software* de predição de cobertura e equipamento para *drive test*, possibilitando ajustes da rede, planejamento e otimização (cobertura, tráfego, interferência, etc.).

Principais desvantagens:

Mantenedores: A PRF não possui cargo específico para gestão e manutenção da rede, ficando dependente do fabricante para a manutenção.

Gestão da Rede: A intenção da PRF é que algum órgão, como, por exemplo, a TELEBRÁS, assuma a gestão desta rede, contudo, não existe nenhum acordo firmado nem contrato de manutenção, o que implica que não se sabe como será a gestão após o tempo de garantia dos equipamentos.

Cobertura: Atualmente, não possui cobertura em todos os estados, sendo necessário para utilização pela PF, de parte da rede em TETRA e parte em TETRAPOL.

Segurança: Para viabilizar a utilização de aparelhos de outros fabricantes, não foi comprada criptografia fim a fim, apenas a já disponível no padrão TETRA.

Custo:

Depende da parceria firmada entre PF e PRF, na maioria dos casos, a PRF não pede contrapartida, ficando a cargo do órgão apenas a compra do rádio e aquisições de novas ERBs. A última compra de rádio realizada custou R\$600,00 já com fone de ouvido e PTT, além de bateria reserva.

Rede do Exército – Análise para possível compartilhamento

Principais vantagens:

Assistência Técnica: O principal fabricante, Motorola, possui assistência técnica em todas as capitais do Brasil.

Governança: Equipamentos na frequência de 800MHz com licença de uso até 2022, prorrogável.

Segurança: Criptografia fim a fim adquirida (não é padrão no APCO 25).

Principais desvantagens:

Cobertura: possui apenas 53 ERBs; as ERBs estão instaladas utilizando diferentes tecnologias do APCO 25, TDMA e FDMA (fases 1 e 2).

Frequência: na faixa de 800MHz com alcance inferior à frequência de 380MHz, a potência de transmissão maior dos equipamentos compensa parte da perda de propagação.

Concorrência e preço dos equipamentos: possui poucos fabricantes, ocasionando preços elevados em relação ao sistema TETRA.

Gestão e Expansão da rede: no contexto encontrado, o órgão não possui plano de expansão da rede, necessitando de parceiros. A gestão não é unificada. Apesar de possuírem corpo técnico para gestão da rede, a formação é dada internamente, e não possuem necessariamente conhecimento em rádio engenharia, com graduação nas áreas de engenharia

elétrica, eletrônica ou telecomunicações, ou ainda, em cursos técnicos nas áreas de eletrônica ou telecomunicações. Também indicam que deve haver um único órgão para gerir a rede.

Custo:

Depende da parceria firmada entre PF e EB. Atualmente existe contrato de manutenção no valor de R\$ 14 Milhões anual. A ideia seria uma divisão equitativa dos gastos e investimento em novas ERBs. Como o EB não possui parceiros até o momento, no mínimo a PF deveria arcar com metade do valor de manutenção anual, equivalente a R\$ 7 Milhões por ano.

Todos os preços são apresentados na Tabela 8 de forma resumida.

Tabela 8 - Cenários de gastos.

Cenários de Gastos Rede LTE com rede fixa e tática sendo o valor de referência, equivalente a 100%. Portanto, todos os preços apresentados referem-se a valores percentuais com relação ao preço da rede LTE com ERBs fixas e táticas.		
REDE	VALOR	OBSERVAÇÕES
Rede TETRAPOL 450 MHz	15,60% 5,9%*	Investimento na rede atual. * Contrato de manutenção reduzido.
Rede TETRAPOL 450 MHz Híbrido	16,31% 6,62%*	
Rede TETRAPOL 380 MHz	78,67%	Incluso treinamento e instalação. Implantado em fases com revitalização do legado atual.
Rede TETRAPOL 380 MHz Híbrido	79,39%	
Rede TETRA 380 MHz	59,23%	Incluso treinamento e instalação.
Rede TETRA 380 MHz Híbrido	59,94%	
Rede LTE fixa sem rede tática	59,47%	Incluso treinamento e instalação.
Rede LTE fixa e tática	100%	
Rede da PRF TETRA 380 MHz	Garantia por mais 2 anos, após isto, custo dividido entre todos os órgãos. R\$2.000,00 / ERB + aquisição + remanejamento.	Aquisição de equipamentos e remanejar parque atual.
Rede do EB APCO 800 MHz	7 milhões anuais de manutenção + aquisição + remanejamento	Aquisição de equipamentos e remanejar parque atual.

Fonte: Elaboração própria.

8.3.6 Medições de governo

No objeto de estudo desta pesquisa, o governo necessita realizar políticas públicas que viabilizem a adoção da inovação. Políticas estas realizadas através de agências de regulação e

agências que executem o planejamento e direcionamento dos gastos públicos na área de tecnologia e segurança pública.

Segundo DINIZ (1995), esta capacidade dos governos em planejar, formular e implementar políticas para a administração dos recursos é denominada governança.

A partir das entrevistas, pode-se verificar que para estes papéis, possuem importância fundamental, a ANATEL, como autarquia federal e agência reguladora; o MCTIC, responsável atualmente no Brasil, pela formulação e implementação da Política Nacional de Ciência e Tecnologia, bem como, o Ministério da Justiça, responsável por todos os órgãos federais de policiamento.

A reestruturação em 2019 do Ministério da Justiça, previu a criação da Secretaria de Operações Integradas, que pretende integrar a operação, a inteligência e as redes dos órgãos de segurança, responsável por todos os órgãos de policiamento.

Também se destaca a Secretaria Nacional de Segurança pública (SENASP), órgão responsável pela política de segurança pública no país.

Os órgãos que executam o controle dos gastos públicos também são necessários para a construção deste modelo, portanto, a Advocacia-Geral da União (AGU), responsável pela representação, fiscalização e controle jurídicos da União, deve assumir este papel no âmbito federal. Para os órgãos estaduais e municipais, as controladorias estaduais devem realizar este controle.

Nesta pesquisa, as entidades que demandam inovação são organizações públicas, tendo atuação, neste caso, dentro da tríplice hélice da inovação, como um dos parceiros da academia e da indústria. Portanto, as aquisições devem obedecer ao regimento da Lei 8666/1993, Brasil (1993b), ou ainda, através da encomenda tecnológica, através da Lei 10.973/2004, que dispõe sobre incentivos à inovação (BRASIL, 2005; BRASIL, 2004) e pelo Decreto 9.283/2018, que regulamenta a Lei n.º 10.973 e estabelece “(. . .) medidas de incentivo à inovação e à pesquisa científica e tecnológica no ambiente produtivo (. . .)” (BRASIL, 2018b, p. 10).

Dentro de uma organização pública, o governo exerce vínculo funcional com os funcionários, no caso de um órgão público federal, o vínculo é regido pela Lei 8112/90, Brasil (1990). Podendo estes servidores ocuparem importantes papéis na decisão tecnológica.

As relações entre os especialistas, usuários e equipamentos da tecnologia, assim como, das entidades: universidade, empresas, governo e sociedade, podem ser representadas através de um sistema, apresentado no passo 3 da metodologia, que também possibilita uma

visualização do ecossistema de inovação². Deve-se verificar o que existe na atualidade de governança para a implantação ou melhoria da tecnologia analisada, assim como, analisar dentro do órgão, qual a capacidade organizacional para inovar e para gerir uma tecnologia.

O algoritmo apresentado na Figura 19, na seção 6.3.6, visa facilitar esta análise, através da atribuição de pesos para uma comparação objetiva, com pontuação máxima igual a 2. Com isto, a tecnologia com maior chance de ser uma inovação bem-sucedida, será a que apresentar pontuação mais próxima da máxima.

Para os cenários analisados, de acordo com o levantamento de dados primários e secundários, pode-se aplicar o algoritmo para verificação da existência ou não de políticas públicas, bem como, da capacidade organizacional. As pontuações relacionadas a cada cenário são descritas a seguir.

Seguindo o fluxo do algoritmo da Figura 19, para os cenários 1, 2 e 3, as respostas de comparação das premissas de uma rede ideal, de acordo com os especialistas, com o oferecido pelas atuais tecnologias existentes nos órgãos, são respectivamente, não atendem totalmente; não atendem totalmente e atendem totalmente.

O segundo questionamento, seguindo o fluxo do algoritmo, para os cenários 1 e 2, é se estas tecnologias estão em vias de trajetória de melhoria, capaz de torna-las hábil nos próximos anos de atender as premissas. Para o cenário 1, que considera apenas sistemas em banda estreita, a resposta é não, sendo a próxima questão sobre a existência de instrumentos legais, a resposta é sim, o que leva o cenário 1 a pontuar 0.5.

No âmbito dos órgãos federais, a utilização das leis 8.666 (BRASIL, 1993a) para contratações e 8.112 (BRASIL, 1990), para gestão de pessoas, possibilita contratações e aquisições para o cenário 1, contudo, com relação à autorização de uso das frequências, no caso da PF, o ato da ANATEL n.º 3460, de 08 de maio de 2018, concede em caráter precário e secundário, prorrogação do uso das frequências em 450MHz apenas até 2023.

Desta forma, apesar de existirem instrumentos legais, para o caso da PF, a utilização do TETRAPOL na faixa atual de 450MHz, estes instrumentos têm validade até 2023, não podendo mais ser prorrogado. Seguindo para a última questão, referente à capacidade de gestão dentro do órgão, para a PF, a resposta é parcialmente, devido ao baixo efetivo do corpo técnico, levando o cenário 1 a pontuar mais 0.5 pontos, totalizando 1.

² De acordo com Sawatani, Nakamura e Sakakibara (2007), é uma estrutura em rede, contemplando ligações entre todos os participantes, e entre estes e o ambiente.

Já para o cenário 2, que considera sistemas híbridos em banda larga e banda estreita, a resposta é parcialmente, o terceiro questionamento no fluxo do algoritmo, sobre se o que as tecnologias oferecem como entrega parcial atende aos órgãos, considerando as respostas dos especialistas, considerou-se que sim. Como existem instrumentos legais, através das leis 8.666 e 8.112 (BRASIL, 1993a; BRASIL, 1990), este cenário pontua 1.

Contudo, para a PF, com relação à autorização de uso da frequência, para a utilização do TETRAPOL na faixa de frequência atual, 450MHz, existe a limitação descrita anteriormente. Já para utilização na faixa de 380MHz, em 05 de junho de 2018, a ANATEL, através do ato n.º 4326, concedeu para a PF, licença de uso na faixa de 380MHz, até 2033, podendo ser prorrogada. Desta forma, para o caso da utilização do TETRAPOL, TETRA ou APCO 25 em 380MHz, os instrumentos legais não possuem ressalvas.

Seguindo para a última questão do algoritmo, considerando-se que o órgão analisado é o mesmo do cenário 1, mais 0.5 pontos são somados, totalizando 1.5.

Para o caso do cenário 3, apesar de as premissas consideradas para uma rede ideal serem atendidas totalmente, ainda não existem no Brasil instrumentos legais que viabilizem a implantação da rede única em banda larga para CC, tanto com relação à destinação das frequências, quanto com relação a como se dará a implantação, operação, manutenção e gestão, portanto, este cenário pontua zero, não podendo ser considerado até que exista governança.

Diante dos dados apresentados para cada cenário, obtiveram-se as seguintes pontuações para os 3 cenários analisados:

- 1) Cenário 1: pontuação igual a 1, equivalente a **50%**
- 2) Cenário 2: pontuação igual a 1,5, equivalente a **75%**
- 3) Cenário 3: pontuação igual a 0, equivalente a **0%**

8.4 PASSO 5 - CONSIDERAÇÕES SOBRE A REALIZAÇÃO DA POC

Após revisão de literatura sobre o tema, não foram encontradas parametrizações para PoC de CC em LTE, por isto, buscou-se verificar em outros países, que já tenham implantando estes sistemas, qual a metodologia foi utilizada para validação das redes, de preferência, com formas de implantação diferentes, para que a pesquisa possua dados mais abrangentes e com análise de diferentes cenários. Buscou-se também parametrizações utilizadas em redes LTE comerciais, por adotar a mesma tecnologia.

Os 3 locais escolhidos como referência para este estudo, foram México, EUA e Reino Unido, conforme justificado nas seções anteriores. Contudo, apesar de neste trabalho, as redes

dos países citados tenham sido utilizadas como referência, também são considerados estudos de outras localidades.

Desta forma, não se pretende restringir possíveis contribuições de outros projetos, por isto, considerou-se os dados levantados pela oficina de comunicações europeias, em *Electronic Communications Committee* (ECC) (2014), a partir de um questionário realizado por esta organização em diversos países, a respeito de como eram estabelecidas as obrigações de cobertura para as operadoras LTE, e como avaliar se estas obrigações vinham sendo atendidas, buscando um conjunto comum de parâmetros técnicos a serem utilizados para determinar a cobertura, utilizando ferramentas de medição e simulação.

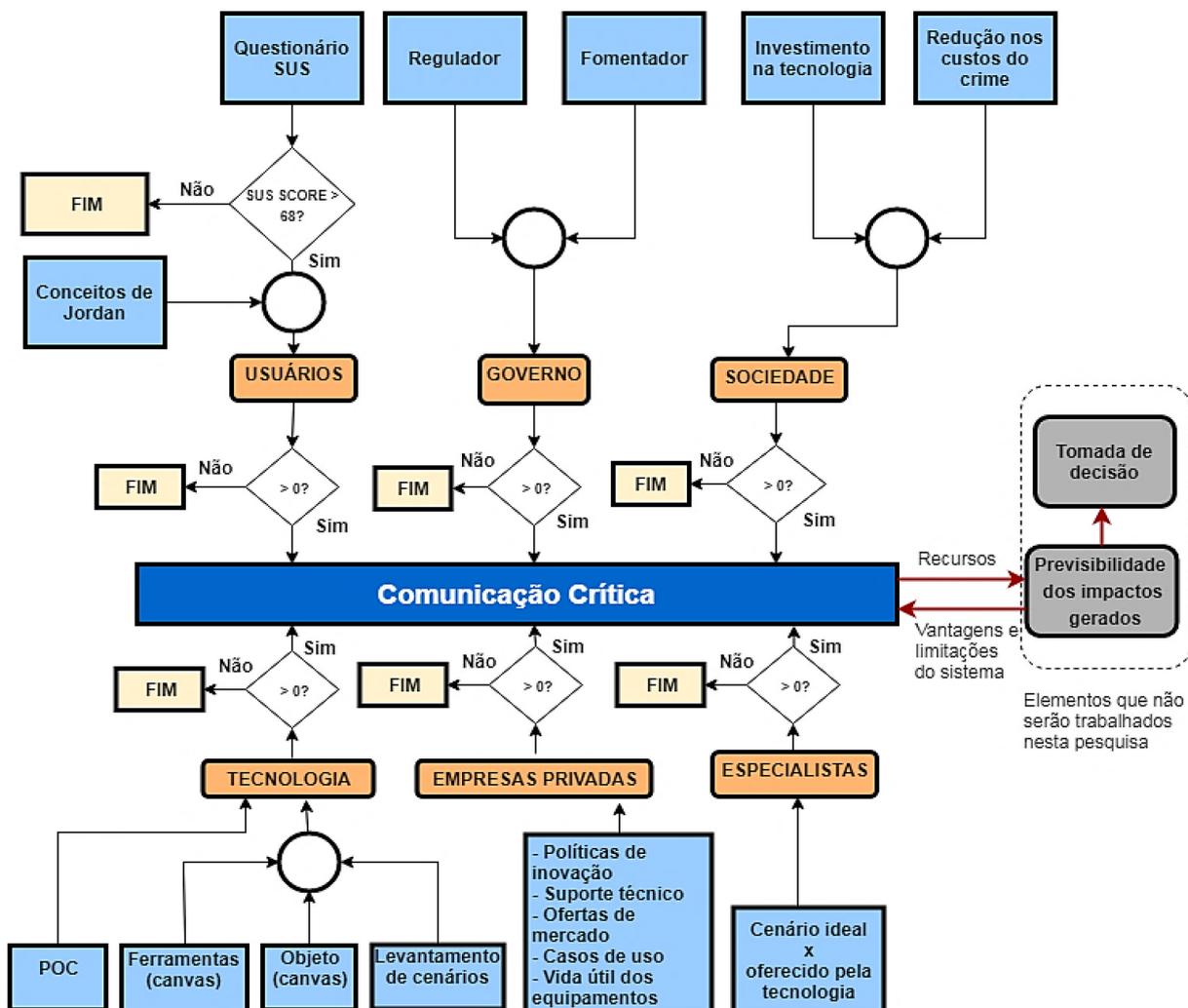
Em virtude da quantidade de dados gerados na PoC realizada no México, assim como, os testes ainda estarem em fase inicial no Brasil, neste trabalho optou-se por realizar a revisão bibliográfica sobre o tema; conceituar a PoC; indicar equipamentos e aplicativos de possível uso; medições a serem realizadas; e relatórios recomendados para produção, considerando boas práticas já adotadas por órgãos públicos de referência, em consonância com a legislação brasileira vigente. Este estudo é apresentado no apêndice D.

Os dados gerados pelas PoCs são recomendados para apresentação em trabalhos futuros.

8.5 PASSO 6: APRESENTAÇÃO DO MODELO DE AT COM PESOS PARA OS CRITÉRIOS ATENDIDOS PELAS TECNOLOGIAS AVALIADAS

Diante dos dados apresentados, na Figura 26 é apresentado o desenho conceitual do modelo de Avaliação de Tecnologia desenvolvido para o estudo de caso, com indicação de como as áreas do conhecimento, técnicas e métodos, foram consideradas no fluxo informacional.

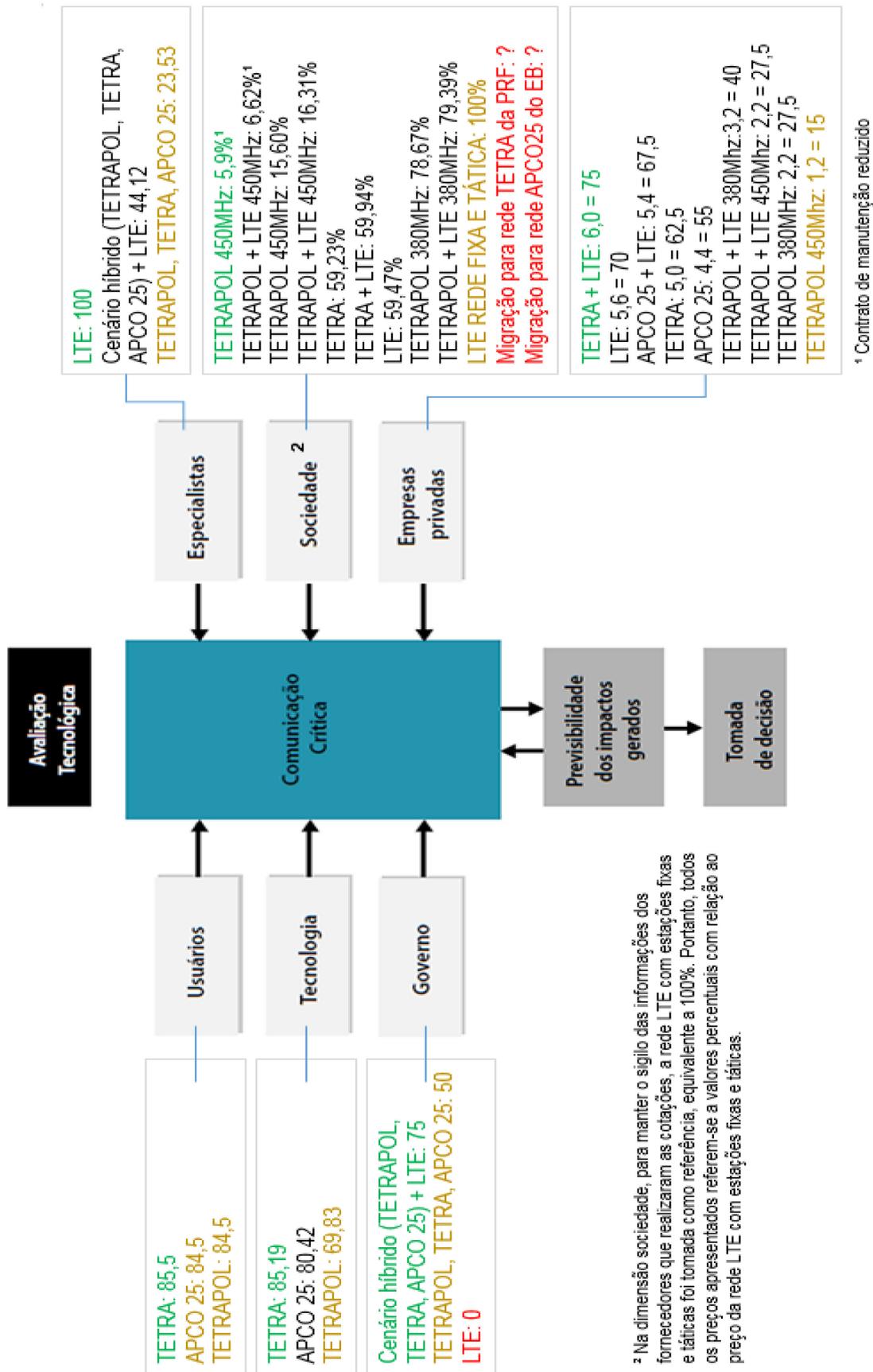
Figura 26 – Passo 6: desenho conceitual do modelo de AT.



Fonte: Elaboração própria.

Na Figura 27, foram inclusos os valores obtidos no capítulo 8 para o estudo de caso, reforçando que, conforme descrito nas seções anteriores, na dimensão sociedade, não foi contabilizada a redução dos custos do crime, e na dimensão tecnologia, não foi contabilizado a valoração referente a PoC, que são propostas para estudos futuros.

Figura 27 – Passo 6: pontuações para o estudo de caso.



Fonte: Elaboração própria.

Na Figura 27, são apresentadas as pontuações para o estudo de caso, algumas análises podem ser feitas a partir desta figura, por exemplo, pelas pontuações apresentadas para os cenários 1 e 2, o sistema indicado para implantação é o TETRA, seguidos pelos APCO 25 e TETRAPOL, conforme demonstrado a seguir.

Para o cenário 1, sem análise de sociedade (custo), tem-se que:

- **TETRA:** $(85,5+85,19+50+23,53+62,5)/5=61,3$;
- **APCO 25:** $(84,5+80,42+50+23,53+55)/5=58,69$;
- **TETRAPOL 380 MHz:** $(84,5+69,83+50+23,53+27,5)/5=51,07$;
- **TETRAPOL 450 MHz:** $(84,5+69,83+50+23,53+15)/5=48,57$.

Para o cenário 2, sem análise de usuários, tecnologia e sociedade (custos), tem-se que:

- **TETRA + LTE:** $(75+44,12+75)/3=64,71$
- **APCO 25 + LTE:** $(75+44,12+67,5)/3=62,21$
- **TETRAPOL 380MHz + LTE:** $(75+44,12+40)/3=53,04$
- **TETRAPOL 450 MHz + LTE:** $(75+44,12+27,5)/3=48,87$

A dimensão sociedade é composta por 2 componentes, sendo estes o custo da rede e a redução nos custos do crime. A previsibilidade de redução nos custos do crime é proposta para estudos futuros, portanto, considerando os dados obtidos nesta pesquisa, com relação ao investimento nas tecnologias, fazendo uma análise comparativa, tem-se que:

$$\text{TETRA} = ((85,5+85,19+50+23,53+62,5+x)/6) = ((306,72+x)/6);$$

$$\text{APCO 25} = ((84,5+80,42+50+23,53+55+y)/6)=((293,45+y)/6);$$

$$\text{TETRAPOL 380 MHz} = ((84,5+69,83+50+23,53+27,5+z)/6)=((255,36+z)/6);$$

Desta forma, podem ser feitas as seguintes comparações:

Comparação entre TETRA E APCO 25: $(293,45+y)/6 > (306,72+x)/6 = 293,45+y > 306,72+x$; $y-x > 13,27$.

Comparação entre TETRA e TETRAPOL: $(255,36+z)/6 > (306,72+x)/6 = 255,36+z > 306,72+x$; $z-x > 51,36$.

Sendo x, y, z os componentes referentes a dimensão sociedade. Apenas para fins de análise, se desconsiderarmos nestas componentes os dados referentes à redução dos custos do crime, considerando apenas preços, a implantação de uma rede APCO 25 é vantajosa para um órgão apenas se o preço for menor que 13,27% do preço de uma rede similar em TETRA.

Partindo do mesmo princípio, a implantação de uma rede TETRAPOL seria vantajosa para um órgão apenas se este sistema for ofertado por um preço menor que 51,36% do preço de

uma rede similar em TETRA. Contudo, recomenda-se que a redução dos custos do crime seja analisada para cada tecnologia, podendo, inclusive, ser o fator determinante para a escolha.

Desta forma, caso a premissa do órgão seja adquirir um sistema que possua criptografia nativa fim a fim, sem considerar as outras análises, o sistema escolhido deve ser o TETRAPOL, caso esta não seja uma premissa, pode-se utilizar a análise acima.

Outras análises podem ser realizadas, a partir dos resultados obtidos pela Avaliação Tecnológica, apresentados na Figura 27.

9 BREVE DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A seguir são realizadas algumas análises com base nas entrevistas. Estas análises possibilitaram a constatação da necessidade de investimentos em tecnologia para CC, por isto, foi preciso estudar quais tecnologias poderiam contribuir para melhorar a qualidade dos serviços de segurança pública no Brasil.

A partir das tecnologias existentes, e dos resultados almejados, de acordo com os especialistas, como aumentos de: solução de crimes em um determinado prazo; eficiência do gasto em segurança pública; otimização dos recursos humanos por operação; entre outros. Foi possível fazer um exercício de Avaliação Tecnológica, através de requisitos para uma rede de comunicação crítica, capazes de ajudar na solução do problema da segurança pública no Brasil.

De acordo com especialistas consultados, esses objetivos de redução da criminalidade, só podem ser obtidos a partir de investimentos em tecnologia, que historicamente tem sido capaz de aumentar a eficiência das forças de segurança. Uma comunicação não eficiente, ou até mesmo, uma ausência de estrutura de radiocomunicação, pode acarretar situações perigosas, que coloquem em risco os profissionais que atuam neste segmento e até mesmo a sociedade.

Como, por exemplo, em uma situação de um atentado terrorista, onde as forças de segurança precisam ter uma atuação rápida, nestas situações, geralmente as redes de telefonia móvel acabam por ficar congestionadas, devido ao grande número de pessoas tentando efetuar chamadas. Principalmente em situações como esta, os órgãos de *Public Safety* não podem ficar vulneráveis, sem comunicação, por congestionamento da rede ou por qualquer outro motivo.

A comunicação crítica não pode ser interrompida, devendo existir a possibilidade de uma comunicação direta do tipo ponto a ponto, ou ponto-multi-ponto, ainda que em menor alcance, como, por exemplo, em situações em que não se tenha cobertura de radiocomunicação por qualquer motivo como: geografia da região; túneis; locais subterrâneos; locais distantes de centros urbanos; ou até mesmo, comprometimento das estruturas onde estão localizadas as Estações Rádio Base.

Também deve existir a possibilidade de ativação rápida de transmissores móveis que possam prover cobertura local em pequenas e/ou grandes regiões, podendo ser utilizadas redes de interligação entre estes equipamentos, com viabilidade de prover cobertura do sistema de rádio de forma rápida e escalonável. Incluindo deslocamento da região de cobertura que se deseja atender, pois, as necessidades de atuação dos órgãos de segurança pública, na maior parte dos casos, não se dão de forma estática e previsível.

Outro exemplo de atuação policial, seria uma perseguição que se inicie em um local que possua cobertura de uma rede fixa (modo TMO), com a perseguição se prolongando para áreas longínquas, em regiões de difícil acesso, vegetação densa, ou até mesmo, com relevos acidentados como montanhas. Principalmente nestes casos, os agentes devem ter possibilidade de se comunicar entre eles e, se possível, também com a base, sobretudo se esta região não possuir cobertura de redes de telefonia celular.

Situações como estas, demandam equipamentos táticos, para que a comunicação seja viabilizada durante a operação. Portanto, o órgão de segurança também deverá dispor de uma equipe técnica de radiocomunicação, que deverá ter uma atuação rápida e eficiente, através da utilização de equipamentos de fácil manuseio, transportáveis, escalonáveis, e que possuam um mínimo de autonomia de energia, e permitam ligações em baterias externas e/ou veículos.

Outra questão de suma importância é a segurança deste tipo de rede. Muitas vezes, questões de segurança nacional são tratadas nestes canais de comunicação, e a *interface* área oferece um risco de interceptação do sinal, portanto, faz-se necessário que o sistema possua criptografia robusta e confiável, para que, mesmo em caso de interceptação, não seja possível a descriptação da informação.

Também deve ser possível que caso um equipamento de rádio seja perdido pelo agente, ou até mesmo, furtado por criminosos, este terminal possa ser rapidamente localizado e neutralizado da rede.

Deve ser minimizada a possibilidade de interceptações por parte de empresas que prestam algum tipo de serviço para o funcionamento do sistema de comunicação. Como, por exemplo, se a comunicação crítica ocorresse através de equipamentos controlados exclusivamente por empresas privadas, poderiam existir vulnerabilidades no sistema, ainda que questões legais no país proibam estas empresas de interceptar estas comunicações.

No Brasil, a utilização de redes digitais LMR, com implantação, operação e gestão pelos próprios órgãos, representou um importante marco para a modernização das forças de segurança pública. Contudo, diversos problemas também surgiram devido à forma como estes sistemas foram e ainda vêm sendo implantados e geridos. Por exemplo, falta de corpo técnico suficiente para manter e gerir a rede, bem como, falta de atualização e modernização dos sistemas.

Outros problemas também precisam ser solucionados, como, por exemplo, a falta de integração e interoperabilidade de sistemas entre as diferentes agências. As situações críticas de violência em várias capitais do país, por vezes, necessitam de operações conjuntas entre os órgãos de segurança e defesa, justificando a integração e interoperabilidade destas redes.

Esta falta de padronização e interoperabilidade implica em dificuldades para uma atuação integrada entre as forças. Atualmente, caso o país tenha uma situação crítica, grande parte destas redes não possui interoperabilidade, como também, são ausentes protocolos de ações bem definidos para a comunicação entre órgãos, ou seja, em uma crise, os órgãos de segurança e defesa teriam dificuldades para se comunicar entre si, situação similar ao que ocorreu no atentado de 11 de setembro nos EUA, onde houveram problemas de comunicação entre órgãos, o que acarretou demora para Tomada de Decisões e execuções de ações.

Aparentemente, o melhor caminho seria, desde da concepção do projeto, ainda na fase de planejamento, se pensar no investimento em uma mesma tecnologia, de preferência com o maior número possível de fabricantes, para viabilizar a economicidade para aquisição.

Se ao invés de várias redes, os recursos públicos tivessem sido investidos em uma única rede nacional, possivelmente teria ocorrido uma otimização dos gastos públicos, com economia em gastos e um sistema com uma ampla cobertura, integrado e interoperável.

No México, por exemplo, adotou-se como padrão, pelo governo federal, a tecnologia TETRAPOL, e a liberação de recursos para os estados aconteciam para investimentos apenas neste padrão, com a obrigatoriedade, por parte do estado, de interligação com a rede dos outros estados e a utilização desta rede nacional pela Polícia Federal do México.

Em vários países europeus foram definidos previamente pelo governo federal, qual sistema LMR seria utilizado e o país inteiro utiliza a mesma rede, tendo prevalência pelo sistema TETRA. Já no Brasil, não existe padronização de uso, até mesmo dentro do mesmo estado, existem polícias estaduais utilizando sistemas distintos, ou seja, polícia civil e polícia militar utilizando diferentes sistemas. Faltam planejamento e diretrizes de investimentos por parte dos órgãos federais, com participação dos estados e municípios.

No Brasil, tomando como exemplo apenas no governo federal, as 3 principais agências de segurança pública e defesa, PF, PRF e Exército, utilizam redes LMR, com as tecnologias, respectivamente, TETRAPOL, TETRA e APCO 25, tendo cada um destes órgãos já investido cerca de 300 milhões de reais para a implantação de 3 redes distintas e com a mesma finalidade, comunicação crítica, e com coberturas coincidentes em diversas localidades, totalizando algo em torno de 900 milhões de reais em 3 redes sem interligação ou interoperabilidade entre elas.

Como exemplo de falta de padronização, hoje no Brasil, tem-se: exército utilizando APCO 25, na faixa de 800MHz; a Polícia Militar (PM) de Minas Gerais, utilizando APCO 25, na faixa de 170MHz; em São Paulo, a PM, utiliza o APCO 25 na faixa de 800MHz; a PF, utiliza o TETRAPOL, na faixa de 450MHz; a PRF, utiliza o TETRA, na faixa de 380MHz.

Portanto, no cenário atual, é muito difícil ter interoperabilidade, a solução mais simples seria criar CICCRRs, onde os órgãos teriam cadeiras. Em Belo Horizonte, por exemplo, no CICCRR existem 42 agências, incluindo companhia de energia, polícias, entre outros. Grande parte destas agências possuem seu próprio sistema de rádio, com interlocutores atuando como operador, portanto, as agências não se falam diretamente, mas através de um posto operador.

Esta é a interoperabilidade mais viável atualmente no Brasil, diante de tantas redes distintas, o operador da rede de rádio do órgão, solicita algum dado ou informação, ou até mesmo, a transmissão de uma comunicação, para o operador de rádio dos outros órgãos. Tecnicamente é viável a integração apenas de voz, porém, complicado para fazer a integração entre vários sistemas distintos.

Por sua vez, a operação destes sistemas é prejudicada, devido à falta de efetivo técnico suficiente nos órgãos, e recursos financeiros para realizar gestão e manutenção adequadas, comprometendo, desta forma, a garantia de disponibilidade e qualidade dos serviços oferecidos.

O investimento em uma rede única LTE para comunicação crítica, integrada aos atuais sistemas LMR, aparenta ser um bom caminho, podendo proporcionar mais eficiência nas operações, a partir de novas funcionalidades, como também, a partir da interoperabilidade entre as agências, viabilizando compartilhamento de informações; agrupamento de dados; construção de análises inteligentes, através da verificação de padrões de criminalidade; orientação preditiva das atividades de policiamento; entre outras.

Essa evolução no padrão do tratamento das informações pode aumentar a resolutividade do combate ao crime, e representar uma redução nos custos do crime no Brasil.

Conforme a revisão apresentada sobre os Custos do Crime no Brasil, com estes custos representados por 3,14% do PIB, de acordo com o BID (2017), e por 4,38% do PIB, de acordo com a Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República do Brasil (2018), o que representa uma variação de R\$204 a R\$285 bilhões por ano. Fazendo uma suposição, considerando que a adoção de uma rede única LTE refletisse na redução de 5% dos custos do crime no Brasil, isto representaria uma economia anual variando entre R\$10 a R\$14 bilhões, o que justificaria, apenas considerando valores financeiros, a implantação desta rede.

Para o caso de criação de uma rede única LTE, algumas questões precisam ser consideradas como, por exemplo:

- 1) Suportar o número de acessos simultâneos das várias agências, com planejamento de tráfego adequado.
- 2) A taxa mínima de dados deve ser capaz de transmitir pacotes em banda larga, visando suportar aplicações para combate ao crime.

- 3) A eficiência das comunicações em situações de movimento deve ser considerada, como, por exemplo, em um trem.
- 4) A latência nas comunicações em LTE deve ser tão baixa quanto a obtida pelas atuais redes LMR, pois, o tempo de recebimento de uma comunicação é um recurso crítico nas operações em segurança pública e defesa.
- 5) Segurança nas comunicações, com uso de criptografia fim a fim e através de dispositivos seguros, com o estabelecimento de diferentes níveis de segurança.
- 6) Existência de uma central de atendimentos disponível durante 24h, os 7 dias da semana, dedicada à rede.
- 7) O atendimento, identificação e resolução dos problemas técnicos deve ser rápido o suficiente para não prejudicar o andamento das operações.
- 8) Definição de requisitos para os dispositivos de usuário, com definições de duração de bateria, facilidade de uso, aplicativos, entre outros.
- 9) Além dos *smartphones* disponíveis no mercado, são necessários diferentes modelos de aparelhos e acessórios, possibilitando a utilização do equipamento em diversas situações, como, por exemplo, equipamentos a prova d'água; equipamentos robustos; assim como, equipamentos discretos, para utilização em locais públicos que necessitem discrição na atuação policial. Também são necessários acessórios auriculares de diferentes modelos e com diferentes tipos de acionamento do PTT.
- 10) Necessidade de integração as atuais redes LMR.

Através de uma rede única LTE, por ser uma plataforma IP, a própria plataforma é uma ferramenta de integração para distintas tecnologias, não apenas voz, mas sistemas de vídeo monitoramento e sistemas de dados.

Aparentemente, um modelo ideal seria parecido com a rede dos EUA, através da *firstnet*, onde se criou uma rede única LTE para órgãos de *Public Safety*, com o governo federal mostrando para as agências os benefícios de aderir a esta rede, como, por exemplo, ter acesso às informações de outras agências, quando houver necessidade.

Com isto, criar-se-ia uma plataforma comum, com possibilidade de integração de comunicação entre os órgãos, em caso de necessidade, e em situações previamente definidas, através de protocolos de atuação.

Poderia ser designado para um órgão federal, a autorização de uso das frequências, e este faria o gerenciamento desta rede, entrando em contato com todos os órgãos que necessitem de comunicação crítica dos estados e municípios, mostrando o benefício desta rede única, e

oferecendo permissão para que o órgão faça parte desta rede, diante de alguns critérios e contrapartidas acordadas. A adesão a esta rede LTE por parte dos órgãos seria facultativa.

Os especialistas sugeriram que algum órgão ligado ao MCTIC, como, por exemplo, a TELEBRÁS, fosse o órgão gestor desta rede, tendo o direito de uso das frequências e proprietária dos ativos, sendo subsidiada por recursos vindos de fundos, como, por exemplo, gerindo os recursos do Sistema Único de Segurança Pública (SUSP), ou qualquer outro fundo, viabilizando, desta forma, a implantação do sistema LTE para comunicação crítica.

Os estados e municípios para terem acesso ao sistema, teriam que disponibilizar locais para a instalação das ERBs, portanto, a TELEBRÁS realizaria a instalação, gerência e manutenção da rede e o estado ou município, em contrapartida, forneceria o espaço físico da torre, ficando também a cargo dos estados e municípios a compra dos rádios ou *smartphones* compatíveis com a rede. Este seria um exemplo viável de se aplicar o conceito da rede única.

Ainda de acordo com os especialistas entrevistados, este órgão gestor poderia terceirizar a manutenção da rede, contudo, cada órgão teria gerência sobre sua própria rede, como, por exemplo, criação de grupos de comunicação; habilitação de usuários com funcionalidades e prioridades determinadas pelo operador da rede; fusão de grupos; controle sobre o compartilhamento de voz, dados e vídeo; planejamento técnico operacional para operações policiais e grandes eventos, entre outros. Portanto, o órgão de segurança necessita de corpo técnico para a gerência técnica da rede; controle; configuração; e em algumas situações, manutenção dos terminais.

O corpo técnico do órgão também deve ser responsável por gerenciar, configurar, operar e instalar a rede tática, em situações de operações em locais sem cobertura da rede fixa, ou até mesmo, situações táticas e operacionais, como, por exemplo, em alto mar, floresta, caatinga, túneis, locais internos de edifícios, equipes em deslocamento com equipamento tático instalado dentro da viatura, dentre outros. Situações como estas, exigem especificidades técnicas e operacionais inerentes ao corpo técnico do órgão de segurança pública.

Foi sugerido durante as entrevistas, a criação de um conselho para a rede única, formado por representantes dos órgãos, composto por: 1 representante de cada estado da SDS, que responderia pelos órgãos que utilizam a rede única daquele estado; os órgãos federais teriam seus próprios representantes, portanto, no âmbito federal, a composição seria, 1 representante para a PF, 1 para a PRF, 1 para a marinha, 1 para exército e 1 para aeronáutica.

Dentro dos estados existiria também um conselho que elegeria o representante da SDS, que responderia no conselho nacional sobre órgãos daquele estado. Desta forma, este conselho nacional seria formado no máximo por 32 representantes, sendo estes, 1 por estado, 1 para o

DF e 5 dos órgãos federais de segurança pública e defesa. Quando algum órgão do estado ou órgão federal adere à rede, passa a ter direito a ter um representante neste conselho regional ou nacional, que teriam reuniões frequentes, com pautas abordando aspectos da rede.

Esta rede seria apenas para segurança pública e defesa, a partir disto, cria-se diretrizes de, por exemplo, todo aeroporto terá que compartilhar as imagens das câmeras com o SUSP, todo concessionário de serviço público que possua vídeo monitoramento deverá disponibilizar este recurso para SUSP, etc.

Contudo, a modernização da atuação da segurança pública para o cenário de *smart city*, com possibilidade de interação entre equipamentos, através da inteligência artificial, deve considerar a questão ética, como, por exemplo, através de: câmeras apenas em locais públicos; identificação de criminosos e suspeitos, apenas entre os que estiverem em uma base de dados de procurados; investigação preditiva, apenas situacional, como, por exemplo, um carro que trafega em alta velocidade ou na contramão, entre outras situações.

Ou seja, a inteligência artificial não realizaria a Tomada de Decisão sobre um possível criminoso, apenas identificaria criminosos pelo reconhecimento facial, através de uma base de procurados; e através de parâmetros de situações que possam representar riscos, definidos previamente pelos programadores, de forma ética e isenta, com a Tomada de Decisão devendo sempre ser do ser-humano.

Considerando os resultados para o estudo de caso, como a PF já possui rede TETRAPOL em 450MHz, contudo, licença de uso apenas até 2023, recomenda-se para este órgão, buscar implantação de uma nova rede em 380MHz, considerando os aspectos apresentados no Passo 6, já com uma previsibilidade de implantação de um cenário híbrido, com integração ao LTE, como o analisado pelo cenário 2. Ou buscar parceria com o EB ou PRF. Pelas análises anteriores, considerando que:

A PRF utiliza TETRA, e o EB utiliza APCO 25. O TETRA apresentou melhores resultados que o APCO 25 na AT realizada por este trabalho.

A frequência em 380MHz, utilizada pela PRF, possui menor perda de propagação do que em 800MHz, utilizada pelo EB, sem considerar potência dos equipamentos. Além disto, a PF também possui licença de uso na faixa de 380MHz, podendo compartilhar o espectro, aumentando, desta forma, a quantidade de canais disponíveis;

Até 2022 a PRF contará com 1091 ERBs em todo o território nacional, o EB atualmente não possui plano de expansão, portanto em 2022 provavelmente contará com as 53 ERBs atuais.

Com relação aos custos de manutenção, a PRF possui mais 2 anos de garantia (o sistema foi adquirido com 4 anos de garantia), o que significa que nos próximos 2 anos a PF não teria

custo de manutenção, pelo mesmo período, utilizando a rede do exército, o gasto seria R\$ 7 milhões por ano, totalizando R\$ 14 milhões. Após o término da garantia da rede da PRF, considerando que o custo da manutenção seja dividido igualmente pelos usuários, 15 usuários da rede com 1091 ERBs e custo de R\$2.000 / ERB por mês, totalizam R\$ 1.745.600,00 por ano para cada órgão, valor muito inferior aos R\$ 7 milhões por ano da rede do EB.

Considerando custos para aquisição de terminais e equipamentos, o TETRA possui diversos fabricantes, o que reduz consideravelmente os custos da rede.

Diante do exposto, a parceria com a PRF aparenta ser mais vantajosa para a PF, sendo recomendado ao órgão, a partir da Avaliação Tecnológica realizada neste estudo, buscar uma análise de cobertura da rede da PRF em comparação com a rede da PF; testes de funcionalidades para verificação se atendem as necessidades do órgão; e verificação da disponibilidade de separação do gerenciamento da rede e dos terminais para os órgãos, para que a PF possua autonomia sobre a gestão dos usuários, grupos de comunicação, e outras funcionalidades consideradas importantes para a PF.

Em caso de necessidade de complementação da cobertura atual da PRF, ou aquisição de novas *features*, para atendimento de funcionalidades necessárias, mas não disponíveis na rede atual, deve-se fazer análise de custo.

Importante ressaltar que mesmo que a PF decida fazer a migração para a rede de um parceiro, a atual rede TETRAPOL deve ser remanejada ou desinstalada, principalmente os componentes do sistema irradiante, como antenas, cabos, suportes, entre outros, objetivando o não comprometimento das pessoas e bens materiais próximos a estas torres. Caso a PF opte por adquirir uma nova rede em 380MHz, podem ser considerados os dados da seção 8.5.

Com relação ao LTE, até que exista governança no Brasil, recomenda-se que não sejam realizados investimentos em uma rede de comunicação crítica em LTE. Após definição de governança, esta solução aparenta ser um bom caminho para redução dos custos do crime no país, sendo necessários estudos mais aprofundados sobre a aplicação da comunicação crítica em um cenário de *smart city*.

10 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pelos tópicos abordados, para implantação das redes LMR, aparentemente deveria ter ocorrido uma consulta a todos os órgãos de segurança pública e defesa, sobre suas necessidades de comunicação, como localidades que deveriam ser atendidas, recursos necessários, etc.

Partindo deste ponto, determinação de uma política pública, com o governo federal coordenando os esforços, viabilizando a implantação de uma rede de comunicação crítica para todo o Brasil, com as frequências designadas para o governo federal, através de algum órgão federal, e os estados e municípios aderindo a esta rede, não apenas para auxiliar no combate à criminalidade, mas também como proteção nacional, e para utilização em crises e calamidades.

Além dos órgãos públicos, os fabricantes também deveriam ter sido consultados, para verificação do que eles têm para oferecer como sistemas, equipamentos e recursos, assim como, consulta a especialistas na área, e universidades. Ou seja, uma ampla discussão, antes de optar-se por uma determinada tecnologia, e após decisão, fazer a concentração de investimentos apenas nesta rede, com coordenação a nível federal.

Contudo, isto não ocorreu para a implantação dos sistemas em *Land Mobile Radio*, o que resultou em multiplicidades de redes, já tendo sido investidos, considerando órgãos federais, estaduais, municipais e distritais, algo em torno de 2,1 bilhões de reais, em mais de 30 redes de comunicação crítica, utilizadas pelos diferentes órgãos de segurança pública e defesa, com coberturas coincidentes em diversas localidades, e complementares em outras localidades, e na maioria dos casos, em redes sem integração ou interoperabilidade de recursos.

Diante disto, a chegada do LTE aparenta ser uma oportunidade para os órgãos terem uma única rede, com grande capacidade de transmissão de dados, com recursos físicos podendo ser compartilhados, e mesmo assim haver separação de organizações, com comunicações e gerência de grupos e terminais controlados pelos próprios órgãos, ou seja, um órgão não teria acesso a rede de outro órgão, e em situações previamente definidas, poderia haver troca de dados, informações e até mesmo de uma comunicação em um mesmo grupo, através de integração das redes, compartilhamento de infraestruturas, e interoperabilidade.

Através de uma rede LTE, por ser uma plataforma IP, a própria plataforma é uma ferramenta de integração de diversas tecnologias, não apenas voz, mas também dados. Esta rede LTE representa a possibilidade de ter um meio comum de troca de informações entre agências, com interoperabilidade de recursos. Portanto, uma nova oportunidade para o país construir uma rede de comunicação crítica de forma planejada e coordenada.

Este estudo apresentou análises das tecnologias atualmente utilizadas em LMR, sendo estas, APCO 25, TETRA e TETRAPOL, bem como, análise dos cenários no Brasil dos usos destas tecnologias, e em alguns países eleitos como referência, sendo estes, México, Reino Unido e EUA. Também foi apresentado uma revisão bibliográfica sobre o LTE e sobre a utilização desta tecnologia para comunicações críticas, como também, proposição de uma metodologia para realização de PoC do LTE para comunicações críticas.

Esta pesquisa também apresentou importantes contribuições, baseadas nas entrevistas aos especialistas, de aplicação das tecnologias em LMR e LTE, assim como, propostas para governança, projeto, implantação, manutenção, operação e gestão, das atuais redes em LMR em diferentes faixas de frequências; de soluções híbridas, com o uso do LMR e LTE em uma mesma rede; e da criação de uma rede única em LTE para comunicação crítica no país.

Também foi apresentado, através do estudo de caso, considerações necessárias para confecção de um projeto de manutenção e gestão de uma rede em comunicação crítica, através do levantamento dos equipamentos já adquiridos e implantados, e elaboração de estatísticas de falhas por componentes, com projeção para os próximos anos de operação da rede, desta forma, o contrato de manutenção tende a aproximar-se das necessidades reais do órgão, sem sub ou superdimensionamento, atendendo aos critérios de eficiência nos gastos públicos.

Pelos dados apresentados nesta dissertação, através de: revisão bibliográfica; aplicação dos 6 passos da metodologia proposta em um órgão público federal; levantamento de custo para os cenários através do estudo de caso; e opinião dos especialistas sobre uma rede ideal e sobre boas práticas de governança e gestão destas redes; pode-se construir relatórios de boas práticas para projeto, implantação, manutenção, operação, gestão e governança de redes para comunicação crítica, tanto em LMR quanto em LTE, sendo esta mais uma das contribuições desta pesquisa.

Desta forma, este trabalho apresentou, através de capítulos e seções, os objetivos da pesquisa; a contextualização do problema na Ciência da Informação; a justificativa da pesquisa; revisão de literatura dos campos relacionados; apresentação do tema radiocomunicação digital aplicado à comunicação crítica; levantamento do estado da arte através da Revisão Sistemática de Literatura; caracterização da pesquisa; apresentação do método desenvolvido para Avaliação Tecnológica; estudo de caso para levantamento de custos dos diferentes cenários; aplicação da metodologia desenvolvida ao estudo de caso, com apresentação dos resultados obtidos; e pelas considerações finais, avaliando as contribuições da presente pesquisa, limitações, lacunas e eventuais oportunidades de estudos futuros.

A importância na realização de uma Avaliação Tecnológica, antes da decisão de aquisição ou desenvolvimento de uma tecnologia por parte do órgão público, foi exemplificada através de números, como, por exemplo, dados da Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República do Brasil (2018), indicando que tendo em vista o cenário de criminalidade no Brasil, os governos federal, estaduais e municipais aumentaram os investimentos em segurança pública, contudo, apesar do aumento de 162% entre 1996 e 2015, o número de homicídios cresceu 49% em números absolutos e 14% por 100 mil habitantes, o que demonstra a aplicação de recursos em ações que não necessariamente foram efetivas.

O objetivo de realizar uma Avaliação Tecnológica para comunicação crítica no Brasil, foi alcançado através da proposição de uma metodologia adequada ao objeto de pesquisa, denominada, 'Modelo de seis passos para Avaliação Tecnológica'. Contudo, devido aos vários campos de estudos visitados, esta metodologia também pode ser aplicada para qualquer tecnologia que tenha como objetivo final a redução dos custos do crime na sociedade, portanto, para a maioria das tecnologias utilizadas na área de Segurança Pública.

Com relação ao objeto de análise, comunicações críticas, devido à complexidade dos sistemas utilizados para este fim, foi necessário a avaliação do Sistema de Atividades, analisando desde informações técnicas referentes a tecnologia, até o entorno no âmbito do órgão público e da comunidade; das ferramentas utilizadas para realização da atividade; da divisão de trabalho; das regras e regulações envolvidas na atividade; e dos sujeitos envolvidos; tendo foco não na tecnologia utilizada e sim, no objetivo do Sistema de Atividades, que para este estudo, é - viabilizar comunicações críticas de forma segura, eficaz, eficiente e ininterrupta.

Portanto, tendo foco no objetivo da atividade, pode-se avaliar diferentes tecnologias, verificando a eficiência e eficácia destas no atendimento do objetivo, através dos mediadores do Sistema de Atividades, sendo estes: ferramentas, regras e divisão de trabalho; e tendo a comunidade e os sujeitos, como atores da atividade. Esta análise ampla, possibilitou a construção de um único sistema informacional, com entradas através de dados mensuráveis e valores normalizados, para uma comparação objetiva e baseada em metodologia científica.

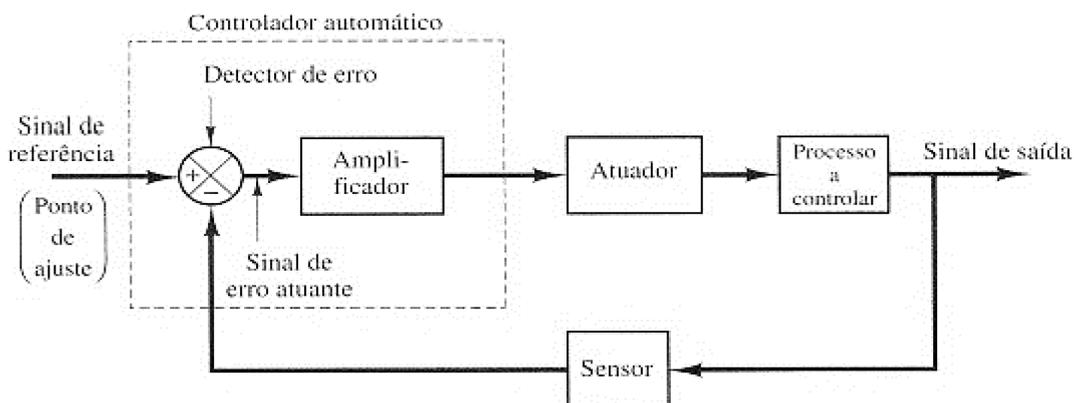
Desta forma, atendendo os princípios defendidos pelas ciências de Avaliação Tecnológica, e pela Gestão da Informação, foi construído um único sistema informacional, auxiliando os gestores dos órgãos de segurança pública, no processo de Tomada de Decisão, para adoção ou desenvolvimento de uma tecnologia aplicada no âmbito da Segurança Pública, que tenha como objetivo final, a melhoria do bem-estar social, através da redução da criminalidade, em especial, as de uso em sistemas de comunicação crítica.

10.1 ESTUDO FUTUROS

1) Otimização dos fluxos informacionais

A seguir é possível visualizar o diagrama em blocos de um sistema de controle industrial, com um controlador automático, um atuador, um processo a controlar e um sensor.

Figura 28 – Diagrama de blocos de um sistema de controle industrial.



Fonte: Extraído de Ogata (2000)

A partir da metodologia proposta neste trabalho, e identificando os blocos e as relações entre eles, o meio, possíveis controles, bem como, os processos e as influências de todos os elementos no sistema, através das análises dos fluxos informacionais, pretende-se otimizar este fluxo e automatizar algumas etapas através do uso de *softwares*, incluindo, como um dos produtos finais, a previsibilidade do impacto gerado na sociedade, através da projeção de quanto determinada tecnologia pode reduzir os custos do crime. Proposta para estudos futuros.

- 2) Resultados das provas de conceito para LTE, com os dados processados das PoCs, realizadas a partir da parametrização apresentada no Apêndice D.
- 3) Análise do LTE no algoritmo apresentado no passo 6, após existência de governança no Brasil para este tipo de tecnologia.
- 4) Estudo de como a questão ética pode ser integrada na análise deste tipo de tecnologia, no âmbito da área de estudo de *smart city*.

REFERÊNCIAS

- 3GPP. *3GPP Global Initiative LTE*. 2018. Online. Disponível em: <<http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/98-lte>>. Acesso em: 15 set. 2018.
- 3GPP. *3GPP TS 36.213 V14.10.0 (2019-03)*: Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical layer procedures (Release 14). Valbonne – France, 2019. Disponível em: <<https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=2427>>. Acesso em: 11 de Abril 2019.
- 3RD GENERATION PARTNERSHIP PROJECT (3GPP). *TS. 36.942, Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Frequency (RF) system scenarios*. [S.l.], 2018. Disponível em: <<https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=2592>>. Acesso em: 02 maio 2019.
- ABBUD, B. Violência custa ao país 5,5% do PIB por ano, segundo pesquisa. **O globo**, Rio de Janeiro, jul. 2018. Disponível em: <<https://oglobo.globo.com/brasil/violencia-custa-ao-pais-55-do-pib-por-ano-segundo-pesquisa-22839245>>. Acesso em: 30 jul. 2018.
- ABNT. **NBR 9241-11 Requisitos Ergonômicos para Trabalho de Escritórios com Computadores. Parte 11 - Orientações sobre Usabilidade**. Rio de Janeiro, 2002. Acesso em: 27/01/2017.
- ACKOFF, R. L. **Creating the corporate future**. New York: John Wiley, 1981. AIRBUS; SMVNO TEAM. **SMVNO Mexico Update**. Cidade do México: [s.n.], 2018.
- ALMEIDA, L. F. M.; CONFORTO, E. C.; SILVA, S. L. Fatores críticos da agilidade no gerenciamento de projetos de desenvolvimento de novos produtos. **Produto & Produção**, v. 13, n. 1, p. 93 – 113, fev. 2012.
- AMSTEL, F. M. C. van. **Almanaque 2010: Interaction Design Yearbook**. [S.l.]: Faber-Ludens Institute for Interaction Design, 2010.
- BASIT, S. A. **Dimensioning of LTE Network, Description of Models and Tool, Coverage and capacity estimation**. 2009. 71 p. Dissertação (Degree of Masters of Science in Technology) — Helsinki University of Technology.
- BATISTA, R. L. et al. What happens with a proportional fair cellular scheduling when D2D communications underlay a cellular network? In: IEEE (Ed.). **IEEE WCNC 2014 - Workshop on Device-to-Device and Public Safety Communications**. Istanbul, Turkey: IEEE, 2014. p. 260 – 265. ISBN 978-1-4799-3086-9.
- BECKER, G. Crime and Punishment: An Economic Approach. **Journal of Political Economy**, v. 2, n. 76, p. 169 – 217, 1968.

BID. **The Welfare Costs of Crime in Latin America and the Caribbean**. Washington, D.C., 2017. Disponível em: <<https://publications.iadb.org/handle/11319/8133>>. Acesso em: 28 jul. 2018.

BORKO, H. Information science: what is it? **American Documentation**, v. 19, n. 1, p. 3 – 5, 1968.

BRASIL. Lei n.º 8.112, de 11 de dezembro de 1990. **Diário Oficial da União**, DOU, Brasília - DF, dez. 1990.

BRASIL. Lei 8666/93. 1993a. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/2002/L10520.htm>.

BRASIL. Lei n.º 8.666, de 21 de junho de 1993. **Diário Oficial da União**, DOU, Brasília - DF, jun. 1993b.

BRASIL. Lei 10.973 de 2 de dezembro de 2004. **Diário Oficial da União - Seção 1**, DOU, Brasília - DF, dez. 2004.

BRASIL. Lei n.º 10.973, retificada em 16 de março de 2005. **Diário Oficial da União - Seção 1**, DOU, Brasília - DF, Mar. 2005.

BRASIL. Emenda Constitucional n.º 85. **Emenda Constitucional n.º 85**, Diário Oficial da União - Seção 1, Brasília - DF, p. 4 –, Fev. 2015.

BRASIL. Lei n.º 13.243. **Lei n.º 13.243 de 11 de Janeiro de 2016**, Diário Oficial da União, Brasília - DF, Jan. 2016.

BRASIL. Decreto 9.283. **Decreto 9.283**, Diário Oficial da União - Seção 1, Brasília - DF, p. 10 –, Fev. 2018a.

BRASIL. Decreto n.º 9.283. **Diário Oficial da União - Seção 1**, DOU, Brasília - DF, p. 10 –, fev. 2018b.

BRASIL. Lei n. 13.675. **Lei n. 13.675**, Diário Oficial da União - Seção 1, Brasília - DF, p. 4 –, Jun. 2018c.

BRASIL, TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO. Roteiro para análise da amostra (prova de conceito) Pregão Eletrônico n° 93/2013 (Versão 4 – Texto alterado pela Errata 2).

Roteiro para avaliação da amostra (prova de conceito) - Pregão n° 93/2013, 2013. Disponível em: <<https://portal.tcu.gov.br/lumis/portal/file/fileDownload.jsp?fileId=8A8182A14DA1C876014DA1DF29FD71F3>>. Acesso em: 10 jun. 2019.

BROOKE, J. SUS-A quick and dirty usability scale. **Usability evaluation in industry**, 1996.

BUCKLAND, M. K. Information as thing. **Journal of the American Society for Information Science**, v. 42, n. 5, p. 351 – 360, jun. 1991.

BUNGE, M. A. *Treatise on Basic Philosophy (Vol.4). Ontology II. A World of Systems. Behavioral Science*, Dordrecht-Holland: D. Reidel Publishing Company, v. 25, p. 166 – 168, 1980.

BUNGE, M. A. **Racionalidad y Realismo**. Madrid: Alianza, 1985.

BUNGE, M. A. **Emergence and convergence**: qualitative novelty and the unity of knowledge. Toronto: University of Toronto, 2003.

BUNGE, M. A. **Diccionario de filosofía**. 3. ed. Buenos Aires: Siglo XXI, 2005.

CAPES. **Portal de Periódico CAPES**. 2018. Online. Disponível em: <<http://www.periodicos.capes.gov.br/>>. Acesso em: 29 jul. 2018.

CAPRIROLO, D.; JAITMAN, L.; MELLO, M. **Custos de bem-estar do crime no Brasil**: Um país de contrastes. Washington, D.C.: Banco Interamericano de Desenvolvimento, 2017. Disponível em: <<https://publications.iadb.org/handle/11319/8131>>. Acesso em: 28 jul. 2018.

CASTELLS, M. **A era da informação**: economia, sociedade e cultura. São Paulo: Paz e Terra, 1999. v. 1.

CATECATI, T. et al. Métodos para a avaliação da usabilidade no design de produtos. **DAPesquisa**, p. 564 – 581, 2011.

CENTRE TECNOLGIC DE TELECOMUNICACIONS DE CATALUNYA (CTTC). **LENA Documentation**. 2019. Online. Disponível em: <<http://networks.cttc.es/mobile-networks/software-tools/lena/>>. Acesso em: 22 abril 2019.

CHESBROUGH, H. W. **Open Innovation**: The New Imperative for Creating and Profiting from Technology. Boston: Harvard Business Press, 2003.

COCHRANE COLLABORATION. **Cochrane Handbook**. 2018. Online. Disponível em: <<http://handbook.cochrane.org/>>. Acesso em: 01 jul. 2018.

CORREIO 24 HORAS. **Salvador registra primeira prisão por reconhecimento facial**. 2019. Online. Disponível em: <<https://www.correio24horas.com.br/noticia/nid/salvador-registra-primeira-prisao-por-reconhecimento-facial/>>. Acesso em: 19 de maio 2019.

DAMANPOUR, F. **Organizational Innovation**. 2017. Disponível em: <<http://negocios.udd.cl/files/2017/10/Fariborz-Damanpour-2017-Organizational-Innovation.pdf>>. Acesso em: 02/10/18.

DAMOSSO, E.; CORREIA, L. M. **COST Action 231**: Digital Mobile Radio Towards Future Generation Systems : Final Report. [S.l.]: European Commission, 1999.

DICIONÁRIO MERRIAM-WEBSTER. **dicionário Merriam-Webster**. 2018. Online. Disponível em: <<https://www.merriam-webster.com/>>. Acesso em: 17 out. 2018.

DIGITAL COMMUNICATIONS DIVISION IN THE U.S. DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES (HHS). **Usability.gov**. 2018. Online. Disponível em:

<<https://www.usability.gov/how-to-and-tools/methods/user-interface-elements.htm>>. Acesso em: 20 jun. 2018.

DINIZ, E. Governabilidade, Democracia e Reforma do Estado: Os Desafios da Construção de uma Nova Ordem no Brasil dos Anos 90. **Revista de Ciências Sociais. Rio de Janeiro**, v. 38, n. 3, p. 385 – 415, 1995.

DOUMI, T. L. et al. LTE for public safety networks. **IEEE Communications Magazine**, v. 51, n. 2, p. 106 – 112, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1109/MCOM.2013.6461193>>. Acesso em: 22 abril 2019.

DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; ANTUNES JÚNIOR, J. A. V. **Design science research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia**. Porto Alegre: Bookman, 2015.

EHRlich, I. Participation in Illegitimate Activities: A Theoretical and Empirical Investigation. **Journal of Political Economy**, v. 81, n. 3, p. 521 – 565, 1973.

ELETRONIC COMMUNICATIONS COMMITTEE (ECC). **Follow-up on questionnaire on coverage obligations**: Doc. ECC(14)019. Cluj-Napoca, Romênia, 2014. Disponível em: <[http://www.cept.org/Documents/ecc/16311/ECC\(14\)019_Follow-up-on-questionnaire-on-coverage-obligations](http://www.cept.org/Documents/ecc/16311/ECC(14)019_Follow-up-on-questionnaire-on-coverage-obligations)>. Acesso em: 28 abril 2019.

EMERGENCY SERVICES MOBILE COMMUNICATIONS PROGRAMME (ESMCP). **Emergency Services Network**. 2018. Online. Disponível em: <<https://www.gov.uk/government/publications/the-emergency-services-mobile-communications-programme/emergency-services-network>>. Acesso em: 23 abril 2019.

EMERY, F. E.; TRIST, E. L. Socio-technical system. **Management science: Models and techniques**, Pergamon, Oxford, p. 83 – 97, 1960.

ENGSTRÖM, Y. **Learning by Expanding: An Activity Theoretical Approach to Developmental Research**. Helsinki: Orienta-Konsultit, 1987.

EVAN, W. M. Organizational lag. **Human Organization**, v. 24, p. 51 – 53, 1996.

FERRÚS, R. et al. LTE: The Technology Driver for Future Public Safety Communications. **IEEE Communications Magazine**, IEEE, p. 154 – 161, out. 2013.

FODOR, G. et al. A Comparative Study of Power Control Approaches for Device-to-Device Communications. In: IEEE (Ed.). **2013 IEEE International Conference on Communications (ICC)**. Budapest, Hungary: IEEE, 2013. p. 6008 – 6013. ISBN 978-1-4673-3122-7.

FÓRUM BRASILEIRO DE SEGURANÇA PÚBLICA. **11º Anuário Brasileiro de Segurança Pública**. [S.l.], 2017. Disponível em: <http://www.forumseguranca.org.br/wp-content/uploads/2017/12/ANUARIO_11_2017.pdf>. Acesso em: 27/09/2018.

FREIRE, D. V. C.; CÂNDIDO, A. C. Proposição de framework para criação de ambientes de inovação em órgãos de segurança pública no Brasil. In: TECNOLÓGICA, A. L. de G. (Ed.). **XVIII Congresso Latino-Iberoamericano de Gestión Tecnológica**. Medellin, Colombia, 2019.

FREIRE, D. V. C.; JORGE, J. M. R.; CÂNDIDO, A. C. **Aproximação entre a Ciência da Informação com a Ciência Policial**: Capítulo VI. 269 p. Florianópolis: Senac, 2019. ISBN 978-85-67932-08-8.

GRANT, A. **Originals**. New York: Viking, 2016.

GSMA. **Network 2020**: Mission Critical Communications. [S.l.], 2018. Disponível em: <<https://www.gsma.com/futurenetworks/wp-content/uploads/2017/02/767-Mission-critical-communications-low-res.pdf>>. Acesso em: 15 set. 2018.

GUEDES, V.L. S.; BORSCHIVER, S. Bibliometria: uma ferramenta estatística para a gestão da informação e do conhecimento, em sistemas de informação, de comunicação e de avaliação científica e tecnológica. In: ANAIS ELETRÔNICOS, 2005, Salvador. **Encontro nacional de ciências da informação**. Salvador, 2005.

GYOKOVOLUTIONS. **G-NetTrack**. 2019. Online. Disponível em: <<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.gyokovolutions.gnettracklite>>. Acesso em: 09 de maio 2019.

HAGE, J.; AIKEN, M. **Social change in complex organizations**. New York: Random House, 1970.

HAYT, W. H. J.; BUCK, J. A. **Engineering Electromagnetics**. 7. ed. New York: McGraw-Hill, 2006.

IP TOOLS D. D. M. **IP Tools**. 2019. Online. Disponível em: <<https://www.iptools.su/>>. Acesso em: 10 maio 2019.

IPNEWS. **Tecnologia da Huawei permitiu que crianças presas em caverna na Tailândia se comunicassem**. 2018. Online. Disponível em: <<https://ipnews.com.br/tecnologia-da-huawei-permitiu-que-criancas-presas-em-caverna-na-tailandia-se-comunicassem/>>. Acesso em: 15 de maio 2019.

ITU. Recomendação ITU-R P.1411/8 - Propagation data and prediction methods for the planning of short-range outdoor radiocommunication systems and radio local area networks in the frequency range 300 MHz to 100 GHz. [S.l.]: ITU, 2015.

ITU. **International Telecommunications Union (ITU) Recommendations**. 2019. Online. Disponível em: <<https://www.itu.int/en/ITU-T/publications/Pages/recs.aspx>>. Acesso em: 07 maio 2019.

JASPER, M. W. A comparison of usability methods for testing interactive health technologies: Methodological aspects and empirical evidence. **International journal of medical informatics**, v. 78, n. 5, p. 340 – 353, 2009.

JORDAN, P. W. **An Introduction to Usability**. London: Taylor & Francis, 1998.

KENDALL, D. G. Stochastic Processes Occurring in the Theory of Queues and their Analysis by the Method of the Imbedded Markov Chain. **The Annals of Mathematical Statistics**, The Institute of Mathematical Statistics, v. 24, n. 3, p. 338 – 354, Set. 1953. Disponível em: <<https://doi.org/10.1214/aoms/1177728975>>. Acesso em: 29 abril 2019.

KERN, V. M. O sistemismo de Bunge: fundamentos, abordagem metodológica e aplicação a sistemas de informação. In: THESAURUS (Ed.). **Encontro Nacional de Pesquisa em Ciência da Informação**. Brasília, 2011. p. 2693 – 2709.

KHAN, T. Os custos da violência: quanto se gasta ou deixa de ganhar por causa do crime no Estado de São Paulo. **São Paulo em Perspectiva**, v. 13, n. 4, p. 42 – 48, 1999.

KNOEMA. **Atlas mundial de dados - Homicídios**. 2018. Online. Disponível em: <<http://pt.knoema.com/atlas/topics/Estat~A\discretionary{-}{-}{-}sticas-criminais>>. Acesso em: 27 set. 2018.

KUMBHAR, A.; GÜVENÇ, I. A Comparative Study of Land Mobile Radio and LTE-based Public Safety Communications. In: IEEE (Ed.). **Proceedings of the IEEE SoutheastCon**. Fort Lauderdale, Florida: IEEE, 2015.

LAZAROU, D. **Using Cultural-Historical Activity Theory to design and evaluate an educational game in science education**. Bistol: Journal of Computer Assisted Learning, 2011.

LEONT'EV, A. N. **problems of development of the mind**. Moscow: Progress, 1981.

LEYDESDORFF, L.; ETZKOWITZ, H. Emergence of a Triple Helix of university- industry- government relations. **Science and Public Policy**, v. 23, n. 5, p. 279 – 286, Out 1996.

LUDOLF, E. M. **Radiocomunicação Digital na Segurança Pública**. 2011. Monografia (Engenharia Elétrica) — Universidade São Francisco. Disponível em: <<http://lyceumonline.usf.edu.br/salavirtual/documentos/2145.pdf>>. Acesso em: 06/09/2017.

MATTELART, A.; MATTELART, M. **História das teorias da comunicação**. 8. ed. São Paulo: Edições Loyola, 2007. ISBN 85-15-01770-9.

MELLO, A. C. B. de. **Levantamento de requisitos por meio da análise da atividade e da tarefa para sistemas digitais**. 2018. 121 p. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Design, linha de pesquisa de Artefatos Digitais) — Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).

MELLO, A. C. B. de; NEVES, A. M. M. das. Eliciting Requirement for Digital Systems Using Activity and Task Analysis. In: (IADIS), I. A. for Development of the I. S. (Ed.). **Multi Conference on Computer Science and Information Systems**. Madrid: IADIS Press, 2018. p. 329 – 333. ISBN 978-989-8533-79-1.

MERKERK, R. O. V.; SMITS, R. Tailoring CTA for emerging technologies. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 75, n. 3, p. 312 – 333, Março 2008. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040162507000248?via=ihub>>. Acesso em: 28/05/2018.

MINISTÉRIO DA JUSTIÇA E SEGURANÇA PÚBLICA. Portaria nº 1.185 de 20 de Dezembro de 2017. **Regimento Interno da Secretaria Nacional de Segurança Pública**, Diário Oficial da União - Imprensa Nacional, Distrito Federal, n. 145, seção 1, p. 93 – 107, Dez 2017. Disponível em: <<http://www.justica.gov.br/Acesso/institucional/sumario/regimento/senasp/regimento-senasp-portaria-1185-2017.pdf>>. Acesso em: 01/10/18.

MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO, DESENVOLVIMENTO E GESTÃO. **Adesão ao Processo Eletrônico Nacional**. 2018. Online. Disponível em: <<http://www.planejamento.gov.br/pensei/adesao-ao-processo-eletronico-nacional-pen>>. Acesso em: 23 out. 2018.

MOTOROLA SOLUTIONS. **LTE de Segurança Pública Sistemas Privados de Banda Larga de Alta Disponibilidade para Missão Crítica**. 2017.

MWANZA, D. Where Theory meets Practice: A Case for an Activity Theory based Methodology to guide Computer System Design. In: HIROSE, M. (Ed.). **Proceedings of INTERACT'2001: Eighth ifip tc 13 international conference on human-computer interaction**. Tokyo, Japan: IOS Press Oxford, UK, 2001.

NIELSEN, J. **Usability Inspection Methods**. New York: John Wiley & Sons, 1994. ISBN 0-471-01877-5.

NIELSEN, J.; MOLICH, R. Improving a human-computer dialogue. **Communications of the ACM** **33**, p. 338 – 348, Mar. 1990.

NÓBREGA, L. F. de O.; RÊGO, I. D. do; SOUSA JR., V. A. de. Análise de desempenho de técnicas ICIC usando o ns-3. In: (UNIFERSA), U. F. R. do S. (Ed.). **Anais do Encontro de Computação do Oeste Potiguar ECOP/UFERSA**. Pau dos Ferros - RN, 2018. v. 2, p. 105 – 112. ISSN 2526-7574. Disponível em: <<https://periodicos.ufersa.edu.br/index.php/ecop/article/view/7909/6966>>. Acesso em: 28 abril 2019.

NORONHA, D. P.; MARICATO, J. de M. Estudos métricos da informação: primeiras aproximações. **Enc. Bibli: R. Eletr. Bibliotecon. Ci. Inf.**, Florianópolis, n. esp., 1º sem. 2008.

NUNES, M. L. **Predição de cobertura radioelétrica em ambiente urbano complexo utilizando base de dados descritiva de alta resolução**. 2017. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica) — Universidade Federal de Minas Gerais.

NYQUIST, H. Certain topics in telegraph transmission theory, Trans. AIEE, vol. 47, pp. 617–644, Abr. 1928 Reprint as classic paper in: **Proc. IEEE**, Vol. 90, No. 2, Feb 2002.

OECD. **Manual de Oslo Diretrizes para Coleta e Interpretação de Dados sobre Inovação**. [S.l.]: OCDE, Eurostat e Financiadora de Estudos e Projetos, 2005.

OFCOM. **The performance of fixed-line broadband delivered to UK residential consumers**. [S.l.], 2011. Disponível em: <https://www.ofcom.org.uk/_data/assets/pdf_file/0026/59273/bb-speeds-may2011.pdf>. Acesso em: 30 abril 2019.

OFCOM. **Measuring Mobile Broadband in the UK**. 2011/26 maio. Online. Disponível em: <<https://www.ofcom.org.uk/research-and-data/telecoms-research/broadband-research/broadband-speeds/broadband-speed-2010/mobile-bb-10>>. Acesso em: 30 abril 2019.

OGATA, K. **Engenharia de Controle Moderno**. Rio de Janeiro: LTC — Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, 2000.

OLSSON, M. et al. **SAE and the Evolved Packet Core**. Oxford: Academic Press, 2009. ISBN 78-0-12-374826-3.

OMS. **Violence Info**. 2018. 2017. Disponível em: <<http://apps.who.int/violence-info>>. Acesso em: 24 abril 2018.

PARSONS, J. J. D. **The mobile radio propagation channel**. 2. ed. London: Pentech press, 2000.

PHUNCHONGHARN, P.; HOSSAIN, E.; KIM, D. in. Resource Allocation for Device-to-Device Communications Underlying LTE-Advanced Networks. **IEEE Wireless Communications**, IEEE, v. 20, n. 4, p. 91 – 100, ago. 2013. ISSN 1558-0687.

RABANOS, J. M. H.; TOMAS, L. M.; SALIS, J. M. R. **Transmisión por Radio**. 7ª. ed. Madrid: Editorial Universitaria Ramón Areces, 2013. ISBN 9788499611068.

RAPPAPORT, T. S. **Wireless communications: principles and practice**. 2. ed. New Jersey: Prentice Hall, 2002.

RATTNER, H. Avaliação de tecnologia (technology assessment): um instrumento auxiliar no processo decisório. **Rev. adm. empres, São Paulo**, v. 19, n. 4, p. 79 – 90, 1979. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-75901979000400007&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 31 ago. 2017.

REVISTA EXAME. **Huawei constrói uma rede eLTE-IoT para a rede elétrica mexicana**. 2018. Online. Disponível em: <<https://exame.abril.com.br/negocios/releases/huawei-constrói-uma-rede-elte-iot-para-a-rede-eletrica-mexicana/>>. Acesso em: 16 de maio 2018.

ROESSLER, A. LTE for critical communications APCO Broadband Summit 2014. In: INTERNATIONAL, A. (Ed.). **APCO's 2014 Public Safety Broadband Summit**. EUA, 2014. Disponível em: <<https://broadbandsummit.apcointl.org/2014-presentations/>>. Acesso em: 001 de maio 2019.

ROGERS, E. M. **Diffusion of innovations**. New York: Free Press, 1995.

ROHDE SCHWARZ. **R&S@CMW Platform Wideband Radio Communication Tester**. 2019a. Online. Disponível em: <https://www.rohde-schwarz.com/br/produto/cmw500-overview-powerslave_63491-10844.html?rusprivacypolicy=0>. Acesso em: 13 de maio 2019.

ROHDE SCHWARZ. **R&S@CMW500**. 201b. Online. Disponível em: <https://www.rohde-schwarz.com/br/produtos/teste-e-medicao/sistemas-e-testadores-comunicacoes-sem-fio/videos/cmw500/lte-d2d-prose-direct-discovery-overview-and-rf-measurements_230788.html>. Acesso em: 13 de maio 2019.

ROSEMBERG, N. **POR DENTRO DA CAIXA PRETA: TECNOLOGIA E ECONOMIA**. 1º. ed. [S.l.]: UNICAMP, 2006. 431 p. ISBN 9788526807426.

SAKIB, N. Policy Issues: Allowing Mobile Operators to Provide. In: UNIVERSITY, I. S. (Ed.). **19th International Conference on Computer and Information Technology (ICIT)**. Dhaka, Bangladesh: IEEE, 2016. p. 506 – 511. ISBN 978-1-5090-4089-6.

SANTOS, R. E. dos. **As teorias da comunicação – da fala à Internet**. São Paulo: Editora Paulinas, 2003.

SARACEVIC, T. Ciência da informação: origem, evolução e relações. **Perspec. Ci. Inf.**, Belo Horizonte, v. 1, n. 1, p. 41 – 62, jan./jun. 1996.

SAWATANI, Y.; NAKAMURA, F.; SAKAKIBARA, A. Innovation patterns. **IEEE international conference on services computing (SCC 2007)**, IEEE, p. 427 – 434, 2007.

SCHILLING, M. A. **Strategic management of technological innovation**. New York: McGraw-Hill Irwin, 2013.

SECRETARIA DE ASSUNTOS ESTRATÉGICOS DA PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA DO BRASIL. **Relatório de Conjuntura nº 4 – Os custos Econômicos da Criminalidade no Brasil**. Brasília -DF, 2018. Disponível em: <http://www.secretariageral.gov.br/estrutura/secretaria_de_assuntos_estrategicos/publicacoes-e-analise/relatorios-de-conjuntura/custos_economicos_criminalidade_brasil.pdf>. Acesso em: 29 jul. 2018.

SHACKEL, B.; RICHARDSON, S. J. **Human Factors for Informatics Usability**. Cambridge: Cambridge University Press, 1991.

SHANNON, C. E. "Communication in the presence of noise", Proc. Institute of Radio Engineers, vol. 37, no.1, pp. 10–21, Jan. 1949. Reprint as classic paper in: **Proc. IEEE**, Vol. 86, No. 2, Fev. 1998.

SILVA, L. M.; VIANNA, W. B.; KERN, V. M. O sistemismo de Bunge como base teórico-metodológica para pesquisa em Ciência da Informação. **Em Questão**, Porto Alegre, v. 22, n. 2, p. 140 – 164, mai/ago. 2016.

STIGLER, G. The Optimum Enforcement of Laws. **Journal of Political Economy**, v. 78, n. 3, p. 526 – 536, 1970.

TETRA CRITICAL COMMUNICATIONS ASSOCIATION (TCCA). **Study on the relative merits of TETRA, LTE and other broadband technologies for critical communications markets**. [S.l.], 2015. Disponível em: <https://tandcca.com/fm_file/tcca-tetra-lte-study-p3c-final-v1-1-feb-15-pdf-2/>. Acesso em: 5 set. 2017.

TETRAPOL FORUM. **TETRAPOL forum**. 2018. Online. Disponível em: <<https://www.tetrapol.com/>>. Acesso em: 05 nov. 2018.

TOP OPTIMIZED TECHNOLOGIES. **Estudio sobre los requisitos técnicos que permitan caracterizar la cobertura con tecnología LTE necesaria para proporcionar determinados servicios de datos**. Madrid, 2018. Disponível em: <https://www.academia.edu/35997066/Estudio_de_requisitos_t%C3%A9cnicos_que_permite_n_caracterizar_la_cobertura_con_tecnolog%C3%ADa_LTE>. Acesso em: 02 out. 2018.

V-SPEED SP. Z O.O. **Fireprobe Web Platform Overview v.1.4.0 Application Interface**. 2019. Online. Disponível em: <https://www.fireprobe.net/files/fireprobe_documentation.pdf?v=1.4.0>. Acesso em: 10 maio 2019.

VYGOTSKY, L. S. **Mind in Society: The Development of Higher Psychological Processes**. Cambridge, Massachusetts, London: Harvard University Press, 1978.

WERSIG, G.; NEVELING, U. The phenomena of interest to information science. **Information Scientist**, v. 9, p. 127 – 140, 1975.

WERTHEIN, J. A sociedade da informação e seus desafios. **Ci. Inf**, Brasília, v. 29, n. 2, p. 71 – 77, ago. 2000. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-19652000000200009&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 29 jul. 2018.

ZANINE, G.; PINTO, M. D. de S.; FILIPPIM, E. S. Análise bibliométrica aplicada à gestão do conhecimento. **Conhecimento Interativo**, São José dos Pinhais, PR, v. 6, n. 2, p. 124 – 140, jul./dez. 2012

APÊNDICE A – QUADROS RESULTADOS DAS ENTREVISTAS

Quadro 20 – Objeto da atividade.

OBJETO:
<ul style="list-style-type: none"> - Estar disponível 24h nos 7 dias da semana; sem interferência; de forma rápida, efetiva e eficiente; segura; confiável que atendam as forças de segurança, defesa civil, aeroportos e demais órgãos que precisem utilizar comunicação crítica. - Não pode falhar, principalmente quando outros sistemas de comunicação não funcionam ou estão congestionados. - Prover resposta rápida para os envolvidos nas atividades de segurança pública e salvamento, com comunicação e transferência de dados de forma rápida e segura que possibilite o CICCRR receber efetivamente as informações, processar os dados e responder rapidamente para os agentes. - Prover comunicação entre agentes. - Prover comunicação entre agentes e CICCRR. - Possui redundância de <i>links</i>, equipamentos e cobertura para não perder comunicação. - Possibilitar que o usuário do rádio consiga falar com quem ele precisa falar, consiga transmitir a mensagem no momento oportuno e consiga receber o <i>feedback</i> de forma imediata para que ele possa tomar as decisões ou efetuar as ações necessárias, baseado em informações confiáveis e coordenadas. São decisões críticas onde muitas vezes o agente precisa pedir um apoio pois sua vida está em risco; o agente precisa de uma informação sobre um indivíduo, precisa receber informações do CICCRR sobre para onde se deslocar ou que ação tomar, entre outros, resumindo, comunicação crítica é para situações críticas. - Viabilizar a segurança da população, protegendo pessoas. - Ser imune a interceptações. - Permitir controle e gerenciamento dos usuários. - Possibilitar a otimização na resolução de crimes e atendimento à população. - Possibilitar o salvamento de vidas, é uma comunicação que auxilia as instituições a solucionar com mais rapidez um determinado problema, auxiliando alguém que pode estar em perigo ou em vias de entrar em perigo. Algumas correntes de pensamento entendem que só polícia e forças armadas trabalham com missão crítica, contudo, seguindo a ideia de salvar vidas, podem também ser classificados como missão crítica: SAMU, companhia de energia elétrica, pois, em um determinado quarteirão que faltou energia pode ter uma pessoa acamada com aparelhos ligados garantindo sua vida e a falta de energia por um longo período pode levar esta pessoa a óbito. A comunicação auxilia na agilidade na realização de procedimentos, por consequência vidas são salvas. - Auxiliar na tomada de decisões de forma rápida e eficiente. Por exemplo, um policial fazendo ronda e alguém liga para o número de emergência e relata uma tentativa de assalto, quanto mais rápido o despachador do atendimento de chamadas puder transferir esta informação para o policial mais próximo ao local, mais rápido esse potencial criminoso pode ser impedido de cometer o crime. Se for um acidente na rodovia, por exemplo, ou um incêndio em um edifício, quanto mais rápido a informação for repassada para os bombeiros, mais rápida será a resposta do agente, também denominado <i>first responder</i>. Para estes casos o equipamento não pode falhar, os equipamentos devem ter um uso restrito e um gerenciamento aprimorado para a informação não chegar errada ou tarde demais. - Prover resposta rápida na confirmação da entrega da informação para aquele que necessita ser acionado ou informado de algo. Por isto em missão crítica quem recebe a mensagem deve sempre confirmar o entendimento e recebimento da mensagem que foi transmitida.

Fonte: Elaboração própria a partir da análise das entrevistas com especialistas em CC.

Quadro 21 – Aspirações e desejos para uma rede de comunicação crítica.

RELATO DE ASPIRAÇÕES E DESEJOS:
<ul style="list-style-type: none"> - Interoperabilidade e integração entre órgãos com mais informações disponíveis para os agentes que estão em campo com consulta de banco de dados. - Que não fosse necessária infraestrutura de torres para prover cobertura, por exemplo, alguma solução por satélite - Transmissão de imagens em tempo real com alta resolução. - Tecnologia em banda larga integrada ao atual sistema de rádio LMR com uso de <i>tablets</i> e <i>smartphones</i> com sistemas embarcados, viabilizando o desenvolvimento e uso de aplicativos para pesquisas em base de dados de informação de indivíduos, veículos, mandados de prisão e qualquer outro sistema que agilize a atuação policial. - Reconhecimento de placas veiculares através das câmeras das companhias de trânsito das prefeituras, com envio da leitura destas placas para base de dados das polícias para verificação se existe alguma queixa de furto ou roubo deste veículo, com resposta para os policiais sobre o <i>status</i> dos veículos. - Reestruturação e modernização dos sistemas de comunicação. - Sistema que atenda a especificidade de todos os órgãos. - Políticas públicas para implantação de um sistema único ou rede única. - Existência de especialistas na área dentro dos órgãos para propor inovações e dar parecer técnico sobre a implantação de uma nova tecnologia. - Doutrina para o usuário entender a importância e utilizar corretamente o sistema. - Maior cobertura <i>outdoor</i> e com maior penetração em ambientes <i>indoor</i>. - Criação de uma rede única para as forças de segurança que se comunique com um CICCRR, através de um planejamento prévio com protocolos bem definidos de como implantar e operar a rede, quais forças podem utilizar, em que situação deve-

se integrar a comunicação dos órgãos, quais canais podem ser integrados, quais cadeias de comando devem ser obedecidas, como se dá o gerenciamento de grupos de comunicação e usuários por parte dos órgãos.

- Aproveitar a implantação do LTE em 700MHz para renovação da tecnologia utilizada atualmente pelos órgãos de segurança, viabilizando integração entre as forças, não apenas de voz como acontece atualmente com os sistemas LMR, mas com voz, vídeo e dados, com qualidade, segurança e integridade.

-Elaboração e execução de políticas públicas que viabilize e operacionalize a integração e interoperabilidade da comunicação entre os órgãos.

- Bateria dos equipamentos portáteis com maior duração de uso e uma melhor relação potência de transmissão ponto a ponto versus tamanho da bateria.

- Priorização de uso nas redes de telefonia celular pelos órgãos de segurança.

- Uso de inteligência artificial.

-Gerenciamento de sistemas inteligentes via rádio, como, por exemplo, controle de semáforos. Cidades que pudessem ser monitoradas através da comunicação crítica, por exemplo, as câmeras detectam uma situação de perigo através do processamento da informação, e o próprio sistema dispara um alerta automaticamente para o policial mais próximo do local que possui uma atividade suspeita, seria aumentar a disponibilidade de banda para fazer controles a distância de máquinas que utilizem inteligência artificial em situações onde o volume de informações para ser processado é muito grande, com interoperabilidade de sistemas e elementos da cidade, como semáforos e câmeras. Resumindo, *Smart City* com órgãos operando com interoperabilidade aos diversos meios como energia, trânsito, polícia, com possibilidade de interação entre equipamentos, através da inteligência artificial construída de forma ética, com câmeras apenas em locais públicos, identificação de criminosos e suspeitos apenas entre os que estiverem em uma base de dados prévia de procurados, investigação preditiva apenas situacional, como por exemplo alguém que pula a cerca de um local onde se é proibido fazer isto, um carro que trafega em alta velocidade na contramão, ou seja, a inteligência artificial não realizaria a Tomada de Decisão sobre um possível criminoso, apenas identificaria criminosos pelo reconhecimento facial através de uma base de procurados, e os parâmetros de situações que possam representar riscos seriam definidas previamente pelos programadores, de forma ética e isenta, a Tomada de Decisão seria sempre do ser-humano.

- Trafegar dados, voz e vídeo em uma única base de dados, trafegando em banda larga, possibilitando que as agências compartilhem informações em uma única base de dados de segurança pública, ou pelo menos, através de uma base de dados integrada, compartilhada através de uma rede protegida, com criptografia robusta.

- Que as secretarias de planejamento e segurança dos estados e federação só liberem recursos financeiros para investimento em sistemas de rádio se realmente forem de missão crítica, e apenas em uma rede que todos os órgãos de segurança pública possam utilizar, por exemplo: a PM mostra um projeto que pode envolver também a polícia civil e bombeiros, deve-se então ser um sistema de missão crítica e deve-se comprovar tecnicamente porque esta é a melhor opção, desta forma, o órgão recebe o recurso para compra de uma rede de comunicação. Ou seja, embasamento técnico e econômico com a implantação de uma rede única para obedecer ao princípio da economicidade.

Fonte: Elaboração própria a partir da análise das entrevistas com especialistas em CC.

Quadro 22 – Ferramentas

FERRAMENTAS:

- Terminais de radiocomunicação (portáteis, móveis e fixos).
- Estações Rádio Base (ERB).
- Estações de programação, gerenciamento e controle (*software e hardware*).
- Estação de geração de chaves de criptografia.
- Controladores da rede (*Control Node, COR, etc.*).
- Bateria de rádio portátil.
- Acessórios dos rádios (fones discretos, *push to talk* de diferentes modelos, carregadores de bateria).
- Repetidores.
- Peças de reposição das ERBs.
- Estação para realização de *drive test* (*software e hardware*)
- Estação para realização de predição de cobertura, otimização e planejamento de canais e tráfego (*software e hardware*).
- *Links* de dados para as estações.
- Meios de comunicação sem fio, como satélites e transceptores.
- *Interface* aérea.
- Equipamentos de interligação de redes distintas, por exemplo, sistema de rádio digital interligado com analógico.
- Infraestrutura física para instalação das torres e equipamentos da ERB e repetidor.
- Infraestrutura física para instalação dos controladores de rede.
- Infraestrutura física para instalação dos terminais de configuração dos terminais e gerência da rede.

Fonte: Elaboração própria a partir da análise das entrevistas com especialistas em CC.

Quadro 23 – Sujeito

SUJEITO:
- Especialistas: profissional com formação técnica ou em engenharia nas áreas de elétrica / eletrotécnica ou telecomunicações, com experiência em projetos, planejamento, operação, manutenção e gerência de redes de comunicação crítica. Integrantes do corpo técnico do órgão de segurança, e corpo técnico do fabricante.
- Usuários: coordenadores, agentes policiais e administrativos, e o próprio centro integrado de comando e controle (CICCR).

Fonte: Elaboração própria a partir da análise das entrevistas com especialistas em CC.

Quadro 24 – Governo

GOVERNO
- Executar políticas públicas que viabilize a implantação de um sistema único ou rede única.
- Pensar no princípio da economicidade em toda a cadeia de atividades relacionadas a sistemas de comunicação, sendo esta: especificação, aquisição, implantação, operação, manutenção e descarte.
- Executar uma diretriz nacional que evite que cada órgão invista em uma rede própria, muitas vezes em locais que já possui cobertura de um sistema de comunicação crítica provida por outro órgão de segurança. Esta diretriz deve estabelecer um padrão de comunicação entre agências, um padrão para colaboração entre os órgãos, um <i>data center</i> comum para troca de informações, por exemplo, compartilhamento das imagens de câmeras entre secretaria de segurança pública e trânsito.
- Que as secretarias de planejamento e segurança dos estados e federação só liberem recursos financeiros para investimento em sistemas de rádio se realmente forem de missão crítica e apenas em uma rede que todos os órgãos de segurança pública possam utilizar
- Aplicação da política do Sistema Unificado de Segurança Pública (SUSP), traçando um viés de um sistema colaborativo de informações entre agências, possibilitando uma atuação mais eficiente dos órgãos.
- Elaboração e execução de políticas pública que viabilize e operacionalize a integração e interoperabilidade da comunicação entre os órgãos.

Fonte: Elaboração própria a partir da análise das entrevistas com especialistas em CC.

Quadro 25 – Regras

REGRAS
- Normas de uso da operação ou atividade com utilização de Diagrama de Rede de Rádio (DDR) através da designação de canais e grupos a utilizar e em que situações; como e quando o usuário deve se reportar a coordenação e centro de comando e controle, designação do modo de operação se modo direto, modo rede ou modo repetidor.
- Comportamento do usuário com postura ética, sem uso de “palavrões”, respeitando os outros usuários.
- Normativos da corporação designando que a comunicação crítica é a comunicação oficial para atividades de segurança.
- Normativos para os usuários determinando forma de uso do sistema e equipamentos.
- Designação das frequências para utilização em comunicação crítica e autorização de uso destas frequências por parte do órgão de segurança.
- Homologação das antenas e equipamentos de radiocomunicação.
- Licenciamento das ERBs.
- Decisão governamental para utilização do LTE com regulamentação de uso e determinação para os órgãos implementarem algo em conjunto.
- Não falar nomes de pessoas, utilizar códigos para denominações de pessoas e equipes.
- Cautelas de equipamentos.
- Normativos internos como instruções normativas e resoluções. Ex. Resolução 3933 / 2006 na Polícia de MG que regulamenta o uso do rádio dentro da PM / MG ensinando os policiais quando utilizar; e respeito ao COPON, que é o posto operador de rede.
- Aulas de radiocomunicação ensinando aos usuários legislação e normas internas de uso do equipamento e da rede.
- Proibição de utilização da mesma faixa de frequência da polícia, mas não proíbe a população de ouvir, apesar de não ter uma regulamentação legal, caso a polícia encontre alguém ouvindo a faixa de frequência da polícia este poderá ser indagado, considerando sistema sem criptografia.
- Normas internacionais de padronização dos padrões de radiocomunicação para APCO25, TETRA e TETRAPOL.
- Normas internas que dê poderes ao posto diretor da rede de radiocomunicação para exclusão e inclusão de usuários, por exemplo, mesmo que um comandante de um batalhão necessite utilizar um determinado grupo de comunicação ou fazer uma transmissão geral, deverá pedir para o posto diretor da rede, ainda que a patente do operador seja inferior ao do comandante, tendo poderes sobre a rede de rádio designados em normativas do órgão.
- Seguir lei de licitações e contratos para aquisições e serviços (lei 8.666).
- Regras de uso de rádio, como comunicação respeitosa, ética, clara, concisa e objetiva, utilizando código fonético internacional e código Q, além de não ocupar o canal de comunicação desnecessariamente. Tudo isto pode ser uma norma social e, caso escrito em normativos internos do órgão, passa a ser uma regra de uso.

Fonte: Elaboração própria a partir da análise das entrevistas com especialistas em CC.

Quadro 26 – Comunidade

COMUNIDADE
<ul style="list-style-type: none"> - Qualquer hora e local (24h). - Centro Integrado de Comando e Controle Regional (CICCR). - Órgãos de segurança e defesa. - Órgãos essenciais como SAMU, companhia de trânsito, defesa civil. - Aeroportos. - Portos. - Aviões e Helicópteros. - Embarcações. - Viaturas. - Shows, eventos esportivos, carnaval e outros eventos com grande concentração de pessoas. - Locais de catástrofes, acidentes, crimes, desastres naturais, desabamentos, desmoroamentos, resgates em cavernas, montanhas, florestas, área submersa, incêndios, contravenções, tumultos e desordens de qualquer espécie. - Regiões de cultivo de plantas com substâncias psicoativas. - Locais de difícil acesso como florestas, caatinga, cerrado, montanhas, alto mar, etc. - Regiões de fronteira. - Grandes eventos como copa do mundo e olimpíadas. - Hotéis, Centros de convenções, comitês eleitorais, passeatas, carreatas, eventos e quaisquer outros locais visitados durante a realização de segurança de dignitários, candidatos à presidência e autoridades. - Operações policiais em qualquer local. - Condução de presos. - Situações críticas, onde precisa-se tomar decisões rápidas onde a vida do agente de segurança pode estar em risco ou a vida de outras pessoas que o agente de segurança deve proteger. - Torre de controle de voos. - Onde exista uma vida em risco podendo ser ambientes internos ou externos, terra, ar ou água.

Fonte: Elaboração própria a partir da análise das entrevistas com especialistas em CC.

Quadro 27 – Divisão de trabalho

DIVISÃO DE TRABALHO
<ul style="list-style-type: none"> - Pesquisadores: realizando estudos para acompanhar o desenvolvimento tecnológico de novas tecnologias para ter sempre um sistema atual, seguro e suficiente para dar respostas. Especificação da tecnologia adotada; proposta de implantação da tecnologia de forma viável; pesquisa de soluções de redundância da rede (<i>link</i>, equipamentos, instalações físicas, etc.). - Gestores: decidem qual tecnologia será implantada e de que forma. Convencimento das secretarias de planejamento e segurança dos estados e federação para aquisição de tecnologia e compra de equipamento. Receber as demandas de melhorias da rede por parte do gerente técnico e, caso entenda necessário, disponibilizar recurso financeiro para as melhorias requeridas. - Usuário coordenador da operação: transmite e recebe comunicação coordenando os agentes, passando comandos e recebendo informações. Respeitar as normas de utilização da rede de rádio; não precisa ter conhecimento técnico mas precisa saber operar o equipamento e utilizar os canais e grupos de comunicação conforme designação da coordenação da operação e da gerência técnica da rede; precisa saber passar a informação para o CICCR, coordenação e equipe no momento correto, além de estar disponível para receber a comunicação de forma que possa ter uma ação rápida após receber comandos de ação ou informações que auxiliam na Tomada de Decisão em uma determinada situação operacional. Estar atento as comunicações dos seus grupos, fazer uma ponte de comunicação caso necessário, estar sempre disponível em seu turno de trabalho com bateria carregada e de posse de bateria sobressalente, além de estar com os rádios nos canais e ou grupos designados para a operação. Planejamento tático e operacional das operações e ações policiais, informando para o corpo técnico dados suficientes para elaboração do Diagrama de Rede de Rádio (DDR), com grupos de comunicação necessários, como, quando e onde devem se comunicar os agentes e os grupos, a quem devem se reportar, quais permissões devem ter os usuários, que usuários pertencem a cada grupo, quais os locais de atuação das equipes e escalas de trabalho. - Usuário agente: transmite e recebe comunicação, não precisa ter conhecimento técnico mas precisa saber operar o equipamento e utilizar os canais e grupos de comunicação conforme designação da coordenação da operação e gerência técnica; precisa saber passar a informação para o CICCR, além de estar disponível para receber a comunicação de forma que possa ter uma ação rápida após receber comandos de ação ou informações que auxiliam na Tomada de Decisão em uma determinada situação operacional. Estar atento as comunicações dos seus grupos, fazer uma ponte de comunicação caso necessário, estar sempre disponível em seu turno de trabalho com bateria carregada e de posse de bateria sobressalente, além de estar com os rádios nos canais ou grupos designados para a operação - Corpo técnico: transmite e recebe comunicação; realização do projeto, planejamento, implantação, operação e manutenção da rede, atualização da rede, gerência, verificação de necessidades da rede e demanda para mudança de tecnologia; manutenção da rede; inspecionar equipamentos, qualidade das chamadas e disponibilidade da rede para verificação da necessidade de melhorias como ampliação, atualização de versão de <i>software</i>, troca de componentes, etc., com informe para o gestor técnico da rede tomar as providências necessárias para garantir o funcionamento da rede sem interrupção dos serviços. Em grandes eventos, a equipe designada para realizar manutenção na rede é denominada equipe de pronto emprego e está disponível durante 24h por 7 dias da semana, enquanto durar o evento ou operação, no intuito

de realizar manutenção corretiva nas ERBs e *links* para não haver interrupção do serviço ou que, pelo menos, esta interrupção seja minimizada.

- Posto diretor da rede = gerência da rede mais operador da rede de rádio: transmite e recebe comunicação, cria grupos; fusão de grupos; fusão de redes; integração de grupos; inclusão / exclusão de usuários em grupos de comunicação; habilitação e configuração de terminais. Verificar se a rede está em plena operação e atuar caso necessário, através do acionamento da equipe de manutenção. Deve ter poder suficiente para controlar toda a rede.

- Gestor técnico da rede: coordenação técnica da rede; planejamento de manutenção da rede; verificação de necessidade de ampliação ou melhorias na rede através da verificação em *softwares* de gerenciamento e do *feedback* do corpo técnico; informe para o gestor do órgão das necessidades técnicas da rede e solicitação de recursos financeiros; realizar projeto para melhorias da rede; receber informações dos pesquisadores sobre novas tecnologias e possível melhorias na rede atual e verificar se adequam-se ao órgão de segurança; realizar projeto de mudança de tecnologia quando entender necessário, após aprovação dos gestores do órgão; trabalhar de forma isenta recebendo e ouvindo todos os possíveis fornecedores de sistemas e equipamentos; fiscalizar contratos com fabricantes e fornecedores de serviços e soluções.

- CICCRR: transmite e recebe comunicação, processa as informações, auxilia os usuários de rádio na Tomada de Decisão, fornece dados oriundos de base de dados, câmeras, etc., para uma melhor atuação do agente, controla e comanda as ações que deverão ser executadas pelos agentes; realiza a integração das comunicações dos órgãos caso necessário, obedecendo parâmetros e critérios previamente definidos que devem estar escritos em protocolos de atuação em crises.

- Fabricantes: Fornecer as soluções para sistemas de comunicação crítica; propor melhorias para as redes atuais; propor novas tecnologias; atender as demandas tecnológicas dos órgãos de segurança pública; apoio técnico-operacional na rede; parceria com corpo técnico na proposição de soluções que se adequem as necessidades dos órgãos; participação de processos licitatórios; suporte aos clientes.

- Assessoria jurídica do órgão, município, estado ou federação: Orientações com relação ao processo licitatório; verificação se os termos de referência não estão direcionando as aquisições para determinado fabricante em detrimento de outros; verificação se aquisições estão em conformidade com a lei de licitação e contratos, lei 8.666, garantindo competitividade com a participação do maior número de empresas possível.

- Vigilante, socorrista, enfermeiro, atendimento CICCRR, controlador de voo, etc.: Recebe a informação e precisa transmitir para alguém, passar para um recurso que vai executar a ação. A notícia pode vir de alguém que não está passando pelo problema, como, por exemplo, um cidadão informa que aconteceu um acidente na esquina, esta informação pode chegar para o policial por telefone, voz, alguém do povo, *WhatsApp*, e-mail, visual, etc. Este policial reporta ao CICCRR, que recebeu esta informação e pede para o CICCRR verificar nas imagens das câmeras no local ou pede para despachar recurso para o local, quanto mais rápido a informação chegar mais rápida será a ação.

- Qualquer do povo: Notícia crime, informação de qualquer acidente, desastre, incêndio ou qualquer outra situação que haja riscos para população e necessite de atuação de órgãos públicos e até mesmo privado, como a companhia de energia.

- ANATEL: ANATEL (BRASIL), FCC (EUA), cada país tem uma agência reguladora que devem ser imparciais e fiscalizadores, responsável pela definição de faixas de frequências e autorizações de uso, bem como, monitoramento do espectro radioelétrico para verificar se existem equipamentos sendo utilizados de forma ilegal e interferindo em sistema com autorização de uso. A regulamentação é importante porque quando se utiliza um meio de comunicação sem fio envia-se rádio frequência de uma ponta a outra e este sinal pode sofrer interferências destrutivas através de fontes que tem o intuito de prejudicar a comunicação da polícia, como, por exemplo, organizações criminosas com a utilização de bloqueadores de sinal radioelétrico, bloqueadores de rastreamento de veículos, ou simplesmente uma interferência destrutiva oriunda de um equipamento que não foi devidamente homologado e gera espúrios, por exemplo, rádio AM/ FM ilegais, sem autorização de uso, conhecidos como rádios pirata. Portanto, é importante a regulamentação para que os sistemas de comunicação crítica possam funcionar de forma a não receber interferência, como também, não irá interferir em outros sistemas que não são de missão crítica, como, por exemplo, na rede wi-fi de uma residência, nos sistemas de controle semafóricos, etc. Alguém poderia trazer de outro país um bloqueador de comunicação da polícia, conhecido como *jammer*, ou até mesmo, fabricar no Brasil para a venda, sem nenhum órgão fiscalizando, isto poderia trazer sérias consequências para a sociedade. A ANATEL identifica estes problemas, podendo notificar o usuário do equipamento ilegal, aplicar multas, e até mesmo acionar a Polícia Federal, em virtude de ser crime tipificado no Brasil a utilização do espectro radioelétrico sem autorização da ANATEL ou com uso de equipamentos não homologados.

- Ministério da Justiça: aplicação da política do Sistema Unificado de Segurança Pública (SUSP), traçando um viés de um sistema colaborativo de informações entre agências, possibilitando uma atuação mais eficiente dos órgãos.

- Polícia federal: coibindo o uso de equipamento de radiofrequência sem autorização de uso concedida pela ANATEL, com detenção dos responsáveis e apreensão dos equipamentos sem autorização de uso para operação ou operando em uma frequência não autorizada para aquele sistema.

Fonte: Elaboração própria a partir da análise das entrevistas com especialistas em CC.

Quadro 28 – Dificuldades

DIFICULDADES
<ul style="list-style-type: none"> - Falta recurso financeiro, o investimento dos governos geralmente ocorre em algo mais visível para a população, por exemplo, viaturas, a comunicação melhora a condição policial, mas a população por muitas vezes não tem esta percepção, falta visão dos gestores públicos para investir em infraestrutura de comunicação, direcionando mais investimentos em tecnologia da informação, ao invés de recursos visando apenas ter mais aceitação na comunidade. - Falta corpo técnico nos órgãos de segurança pública para análise de qual melhor tecnologia e qual a melhor forma de implantar, falta avaliação tecnológica. - Brasil é um país de com uma extensa área territorial, o que torna difícil uma cobertura abrangente. - Sistemas de comunicação crítica apresentam altos custos de implantação e manutenção. - Limitação de canais e largura de banda. - Falta uma diretriz nacional e acaba cada órgão por investir em uma rede própria, muitas vezes em locais que já possui cobertura de um sistema de comunicação crítica provida por outro órgão de segurança. - Falta de uma política que estabeleça um padrão de comunicação entre agências, um padrão para colaboração entre os órgãos, falta um <i>data center</i> comum para troca de informações, por exemplo, compartilhamento das imagens de câmeras entre secretaria de segurança pública e trânsito. - Falta integração de base de dados e interoperabilidade entre sistemas.

Fonte: Elaboração própria a partir da análise das entrevistas com especialistas em CC.

Quadro 29 – Sociedade

SOCIEDADE
<ul style="list-style-type: none"> - Implantação de tecnologias que possibilitem aumento na sensação de segurança por parte da população, que permitam a atuação da polícia com mais eficiência e transparência, com possibilidade de transmissão de imagens e armazenamento de vídeos, com câmeras nas viaturas e nos policiais, provendo transparência na atuação policial e maior segurança para o próprio agente. - Aumento da possibilidade de êxito das ações policiais com redução efetiva na criminalidade. - Implantação de tecnologia que viabilize um aumento no percentual da elucidação de crimes. - Sistema que possibilite uma atuação policial mais eficiente. - Verificação de qual seria o benefício para a sociedade com a tecnologia que será implantada, normalmente na política olha-se a abrangência e a visibilidade que poderá dar, contudo, na maioria das vezes, a eficiência a ser proporcionada é através do uso de ferramentas que não são divulgadas, devido a necessidade de sigilo para que atuação da polícia seja viabilizada, a compra de uma viatura, por exemplo, em uma determinada comunidade poderá ter muito mais visibilidade do que a compra de um <i>software</i>, contudo, este <i>software</i> pode proporcionar muito mais eficiência na atuação da polícia, quando comparado com a aquisição de uma viatura. Deve-se verificar se a nova tecnologia pode reduzir a criminalidade e aumentar a eficiência, sem necessariamente ter a necessidade de ser divulgado para virar um “palanque político”. <p>Com relação a aspectos econômicos, como financiar a adoção desta rede?</p> <ul style="list-style-type: none"> - Parceria Público Privada, exemplo no Brasil: criação de organização sem fins lucrativos para doar equipamentos para a polícia como compensação de impostos que são pagos, pois, muitas vezes o governo encontra dificuldades para a compra de sistema e equipamentos, seja por falta de recursos financeiros, seja pelo formato da lei que rege as licitações e contratos, onde precisa-se adotar uma determinada tecnologia mas por força das normas, não se consegue especificar para compra, o que termina por atrasar a adoção de determinada solução por parte dos órgãos. Talvez com a figura da encomenda tecnológica, disponibilizada pela lei da inovação, consiga-se resolver, ou pelo menos atuar, através da adoção de soluções tecnológicas, contudo, enquanto esta lei não se torna efetivamente utilizada pelos órgãos, pode-se adotar outras soluções como uma parceria com indústria e comércio. Atualmente as empresas e indústrias gastam uma enorme parcela de seus recursos em segurança privada, devido a deficiência do estado em executar a atividade de proteção de pessoas, bens e patrimônios, se ao invés de investir totalmente em segurança privada, uma parcela deste investimento fosse direcionado para investimento em segurança pública, através da doação de equipamentos, não apenas esta empresa ou indústria ganharia, mas a sociedade também, com resultados provavelmente mais efetivos do que enormes quantias financeiras investidas em segurança privada. Ou seja, uma tecnologia que pudesse ser patrocinada de alguma maneira em parte pelo capital privado, sendo patrimônio do estado, mas custeado em parte pela iniciativa privada. - A tecnologia adotada seria a que obtivesse melhores resultados em provas de conceito, termo vindo do inglês <i>Proof of Concept</i> (POC), o objetivo da POC é provar a viabilidade de um projeto ou conceito em escala reduzida. Geralmente POC são implementações de forma resumida e até mesmo incompletas que antecedem a implantação real, onde são realizados vários testes que objetivam demonstrar a viabilidade do novo produto ou solução. A POC deve possuir parâmetros definidos previamente e validados de forma transparente e com publicações dos resultados das provas. Deveriam ser seguidas as etapas: O órgão define os parâmetros que serão medidos e o cenário que será avaliado, convida fabricantes que demonstrem a eficiência daquela tecnologia, através da realização de POCs nas mesmas condições para todos e realizando as mesmas medições nos mesmos equipamentos, depois seria chamada uma consultoria independente para validar os resultados das POCs, conferindo as medições e resultados, gerando um relatório dizendo se as ações pedidas para serem realizadas com os parâmetros pré-determinados, foram executadas ou não, e se os resultados foram atingidos ou não. Os resultados seriam apresentados para essa parceria com empresas privadas, relatando os investimentos que a segurança pública precisa, por exemplo, vídeo monitoramento, comunicação e após a realização de provas de conceito, atendendo a parâmetros

previamente definidos e validados e com os resultados avaliados por uma consultoria isenta, verificando se o equipamento atende todas as demandas requeridas.

Verifica-se junto a esta parceria com empresas privadas se este equipamento poderia ser doado, com abatimento de impostos das empresas doadoras. As empresas privadas negociariam direto com o fabricante do equipamento escolhido. Este caso seria para segurança pública dos estados e municípios, no caso da PF, PRF e forças armadas, a melhor opção seria através de recursos do governo federal, pois seria mais complicado construir uma rede de empresas de âmbito nacional que pudessem contribuir, para este caso, poderia ser recurso de algum fundo, como, por exemplo, um percentual da venda de frequências para empresas privadas seria utilizado para financiar o sistema de comunicação crítica, a Polícia Federal poderia contratar ou fazer parceria com uma universidade, por exemplo, fazer uma avaliação tecnológica por um especialista, oriundo de uma organização sem fins lucrativos, sem interesses diretos na tecnologia que será adotada, como uma universidade pública por exemplo, apenas para avaliar e orientar o órgão na escolha da melhor tecnologia.

- Aplicar um modelo similar ao utilizado pelo México, através da rede híbrida.

Fonte: Elaboração própria a partir da análise das entrevistas com especialistas em CC.

Quadro 30 – Especialistas

ESPECIALISTAS

- Parecer técnico sobre tecnologias utilizadas e outras de possível aplicação.
- Rede que seja de fácil operação e gerência, além de reduzida necessidade de manutenção.

Fonte: Elaboração própria a partir da análise das entrevistas com especialistas em CC.

Quadro 31 – Usuários

USUÁRIOS

- Não precisa ter conhecimento técnico mas precisa saber operar o equipamento, assim como os recursos de rede.
- Precisa saber passar a informação de maneira clara e concisa, para o CICCR, coordenação e equipe no momento correto, além de estar disponível para receber a comunicação de forma que possa ter uma ação rápida após receber comandos de ação ou informações que auxiliam na Tomada de Decisão em uma determinada situação operacional.

Fonte: Elaboração própria a partir da análise das entrevistas com especialistas em CC.

Quadro 32 – Tecnologia

TECNOLOGIA

- Interoperável.
- Que atenda as particularidades de todos os órgãos.
- Que possibilite transmissão e gravação de vídeos das atividades policiais.
- Que possua melhor custo devido a produção em escala.
- Que possa ser conectado à rede convencional de telefonia celular.
- Que possua ERBs ou repetidoras táticas, que possam ser ligadas em qualquer local provendo uma “bolha” tática de cobertura.
- Que possua baixa latência.
- Que não seja possível de ser interceptado.
- Que disponibilize uma comunicação rápida, segura e confiável.
- Que possua tecnologia integrada ao atual sistema LMR com uso de *tablets* e *smartphones* com sistemas embarcados, viabilizando o desenvolvimento e uso de aplicativos, utilizando rede em banda larga para pesquisas em base de dados de informação de indivíduos, veículos, mandados de prisão e qualquer outro sistema que agilize a atuação policial.
- Preferência por sistemas e equipamentos que possuam concorrência de fabricantes visando economicidade.
- Pensar no princípio da economicidade em toda a cadeia de atividades relacionadas à sistemas de comunicação, sendo esta: especificação, aquisição, implantação, operação, manutenção e descarte.
- Que possua uma criptografia robusta.
- Que viabilize leitura de placas e identificação em base de dados.
- Que disponibilize maior largura de banda.
- Verificar em outros países que vem implantando ou já implantaram a rede única LTE, quais as barreiras que as polícias impuseram para não compartilhar informações com outras agências e qual o grau de acesso que diferentes agências podem ter.
- Sistema eficiente de leitura, processamento e resposta rápida e eficiente de dados e imagens. Que permita auditoria do uso da tecnologia de forma automática, gerando alarmes sobre, por exemplo, um veículo roubado que está nas imediações do policial, o sistema aciona o policial para atuação, caso o policial não atue este irá ser auditado. Uso de inteligência artificial (*Smart City*).
- Transmissão sem atrasos, sem perda de pacotes, com qualidade e largura de banda.

Fonte: Elaboração própria a partir da análise das entrevistas com especialistas em CC.

Quadro 33 – Interoperabilidade e integração de redes.

INTEROPERABILIDADE E INTEGRAÇÃO
<p>- Um dos grandes problemas para utilização de um mesmo sistema entre os órgãos é a falta de conhecimento em sistemas de comunicação crítica, pois, este tipo de sistema permite que se tenha controle da rede e separação dos órgãos, inclusive separação da gerência da rede, com criação de redes separadas e integração, caso necessário, em grupos de comunicação previamente designados para isto. Muitos órgãos não possuem corpo técnico com conhecimento em telecomunicações e muitos gestores desconhecem como funciona uma rede de comunicação crítica.</p> <p>- Com relação a integração, o primeiro passo é existir vontade dos órgãos de utilizarem a mesma infraestrutura, não precisa utilizar o mesmo sistema, pode ser um compartilhamento de infraestrutura, através de um investimento único, como, por exemplo, a mesma torre para todos os órgãos.</p> <p>- Com a opção de utilização de uma única rede, os recursos financeiros são destinados para o mesmo sistema, tornando mais barato para ampliar a rede. Sistemas diferentes para diferentes polícias implica em desperdício de recursos.</p> <p>- Atualmente não é possível fazer a interoperabilidade de forma eficiente e efetiva, pois, cada órgão compra sistemas diferentes e a forma de se fazer interoperabilidade é através do uso de <i>gateways</i> que fazem integração apenas de voz. Quando cada órgão compra uma tecnologia diferente, posteriormente para que os órgãos se falem em um grupo integrado, como necessário em uma situação de crise por exemplo, precisa-se comprar mais equipamentos, deixando os sistemas ainda mais complexos. O melhor caminho seria, desde do início do projeto, ainda na fase de planejamento, se pensar no investimento em uma mesma tecnologia, de preferência com o maior número possível de fabricantes, para viabilizar a economicidade para aquisição.</p> <p>- A chegada do LTE é uma oportunidade para os órgãos terem uma única rede com grande capacidade de transmissão de dados, e quanto maior a quantidade de órgãos participando desta rede, melhor, para compensar os investimentos. Os recursos físicos da rede podem ser compartilhados e mesmo assim haver separação de organizações, com comunicações e gerência de grupos e terminais controlados pelo órgão, ou seja, um órgão não teria acesso a rede de outro órgão, e em situações previamente definidas, poderia haver troca de dados, informações e até mesmo de uma comunicação em um mesmo grupo, desta forma, ter-se-ia integração através do compartilhamento de infraestruturas, e interoperabilidade com a possibilidade de troca de dados e voz entre as forças, em situações previamente planejadas e acordadas.</p> <p>- Esta rede única deve possuir uma gerência central, responsável pela manutenção e gestão de forma macro e, de preferência, que não seja um órgão de segurança pública e sim um órgão que sua expertise seja comunicação e tecnologia. Apesar de uma gerência central, todos os órgãos públicos teriam participação na gestão desta rede, com poderes e responsabilidades sobre sua gestão, manutenção, operação e planejamento da expansão e atualização.</p> <p>- O governo alemão, por exemplo, implanta a infraestrutura necessária para a comunicação e depois cada órgão quando precisa ingressar naquela estrutura, entra com o recurso necessário para isto, ou seja, para fazer uma ampliação daquela rede e para comprar seus terminais. No Brasil, falta um órgão que seja responsável por esta rede única, em vários países europeus foi definido previamente pelo governo qual sistema LMR seria utilizado, e o país inteiro utiliza a mesma rede, tendo prevalência pelo sistema TETRA, já no Brasil, não existe padronização de uso, até mesmo dentro do mesmo estado existem polícias estaduais utilizando sistemas distintos, ou seja, polícia civil e polícia militar utilizando diferentes sistemas, como ocorre no estado de Minas Gerais por exemplo. Falta planejamento e diretrizes de investimentos nesta área por parte dos órgãos federais com participação dos estados e municípios, falta política pública nesta área. Atualmente existem mais de 30 redes de comunicação crítica no Brasil, cada órgão com sua própria rede e sistemas distintos, com coberturas, por vezes, até na mesma região, mas sem integração e interoperabilidade, se ao invés de várias redes os recursos públicos tivessem sido investidos em uma única rede nacional, teria ocorrido uma otimização dos gastos públicos, com provável economia em gastos, e um sistema com uma ampla cobertura, integrado e interoperável.</p> <p>- Deveria ter ocorrido uma consulta a todos os órgãos de segurança sobre suas necessidades de comunicação, como localidades que deveriam ser atendidas, recursos necessários, etc. Partindo deste ponto, determinar uma política pública onde o governo federal coordenaria estes esforços, viabilizando a implantação desta rede para todo o Brasil, onde as frequências pertenceriam ao governo federal, através de algum órgão federal, e os estados fariam adesão a esta rede, não apenas para auxiliar no combate à criminalidade, mas também como proteção nacional, pois, quando não se tem uma rede nacional o país fica vulnerável. Além dos órgãos públicos, os fabricantes também devem ser ouvidos para verificação do que eles têm para oferecer como sistemas, equipamentos e recursos, assim como, ouvir especialista na área, podendo estes especialistas vir até mesmo das universidades. Ou seja, uma ampla discussão antes de optar-se por uma determinada tecnologia, e após decisão, fazer a concentração de investimentos apenas nesta rede, com coordenação a nível federal.</p> <p>- Hoje em dia, caso o país passe por uma situação crítica, grande parte destas redes não possui interoperabilidade, como também, são ausentes protocolos de ações bem definidos para a comunicação entre órgãos, ou seja, em uma situação de crise, os órgãos de segurança teriam dificuldades para comunicar-se entre si, situação similar ao que ocorreu no atentado de 11 de setembro nos EUA, onde ocorreram problemas de comunicação entre órgãos, o que ocasionou na demora para Tomada de Decisões e execuções de ações.</p> <p>- Como exemplo de falta de padronização, hoje no Brasil, o exército utiliza o sistema APCO 25 na faixa de 800MHz, a Polícia Militar de Minas Gerais utiliza APCO 25 na faixa de 170MHz, em São Paulo a Polícia Militar utiliza o sistema APCO 25 na faixa de 800MHz, a Polícia Federal utiliza o sistema TETRAPOL na faixa de 450MHz, a Polícia Rodoviária Federal utiliza o sistema TETRA na faixa de 380MHz. Estas redes são apenas alguns exemplos das diversas redes que existem atualmente no território nacional, onde poderia haver uma única rede com melhor cobertura, melhores recursos e possibilidade de interoperabilidade. Falta no país uma política de investimentos em infraestrutura para comunicações críticas, com uma coordenação central do governo federal, apoiando os estados e municípios e captando recursos para a implantação da rede.</p> <p>- No cenário atual é muito difícil ter interoperabilidade, a solução mais simples seria criar centros integrados de comando e controle, onde os órgãos teriam cadeiras neste Centro, em Belo Horizonte, por exemplo no CICCRR existem 42 agências,</p>

no CICCR de Porto Alegre existem 18 agências. Grande parte destas agências possui seu próprio sistema de rádio, com interlocutores atuando como o operador de rádio, portanto, as agências não se falam diretamente, mas através de um interlocutor. Esta é a interoperabilidade mais viável atualmente no Brasil, diante de tantas redes distintas, criação de um local físico onde as pessoas dos órgãos possam estar e, caso necessário, o operador da rede de rádio do órgão, solicita algum dado ou informação ou até mesmo a transmissão de uma comunicação, para o operador de rádio dos outros órgãos. Tecnicamente é viável a integração apenas de voz, porém, complicado para fazer a integração de vários sistemas distintos. - Através de uma rede LTE, por ser uma plataforma IP, a própria plataforma é uma ferramenta de integração de diversas tecnologias, não apenas voz, mas sistemas de vídeo monitoramento e sistemas de dados. Esta rede LTE representa a possibilidade de ter um meio comum de troca de informações entre agências, com interoperabilidade.

-Um modelo ideal seria parecido com a rede dos EUA, com a criação de uma rede única para segurança pública, com o governo federal mostrando para as agências que o benefício de aderir a esta rede seria ter acesso a informações de outras agências quando houver a necessidade desta informação, com isto, se criaria uma plataforma comum de comunicação de voz, que poderia ser integrada a comunicação de voz entre os órgãos, em caso de necessidade e em situações previamente definidas através de protocolos de atuação. Seria designado para um órgão federal as frequências e este faria o gerenciamento desta rede, entrando em contato com todos os órgãos que necessitem de comunicação crítica dos estados e municípios, mostrando o benefício desta rede única e oferecendo permissão para que o órgão faça parte desta rede diante de alguns critérios e contras partidas acordadas entre os órgãos, a adesão a esta rede seria facultativa. A TELEBRÁS poderia ser este órgão gestor, sendo proprietária dos ativos, e homologada para uso das frequências, sendo subsidiada por recursos vindos de fundos, por exemplo, gerindo os recursos do SUSP ou qualquer outro fundo, que poderia ser, por exemplo, um percentual de cada telefone celular vendido no país, viabilizando, desta forma, a implantação do sistema LTE para comunicação crítica. Os estados e municípios para terem acesso ao sistema teriam que disponibilizar locais para a instalação dos equipamentos de rádio transmissão, as ERBs, portanto, a TELEBRÁS realizaria a instalação, gerência e manutenção da rede, e o estado ou município, em contrapartida, forneceria o espaço físico da torre, ficando também a cargo dos estados e municípios a compra dos rádios ou *smartphones* compatíveis com rede. Este seria um exemplo viável de se aplicar o conceito da rede única. Um exemplo de uso desta rede nacional por parte do estado, seria por exemplo, da equipe que realize segurança do governador de São Paulo, esta rede funcionaria neste estado e caso o governador precise viajar para outra localidade, Brasília, por exemplo, os agentes de segurança conseguem falar entre si via rádio, através da rede, além de conseguir se comunicar com a casa militar de São Paulo, mesmo os rádios estando em Brasília. A TELEBRÁS poderia terceirizar a manutenção da rede. Existiria também um conselho formado por representantes dos órgãos, sendo 1 representante de cada estado da SSP, que responderia pelos órgãos que utilizam esta rede única de comunicação crítica daquele estado, e os órgãos federais teriam seus próprios representantes, seria então, 1 representante para a PF, 1 para a PRF, 1 para a Marinha, 1 para Exército e 1 para Aeronáutica. Dentro dos estados existiria também um conselho que egeria este representante da SSP que responderia no conselho nacional sobre órgãos daquele estado com relação a rede única de comunicação crítica. No final das contas, este conselho nacional seria formado por 32 representantes, sendo estes 1 por estado e DF, e 5 dos órgãos federais de segurança e defesa. A partir do momento que algum órgão do estado ou algum órgão federal adere a rede, passa-se a ter direito a ter um representante neste conselho nacional, que teria reuniões algumas vezes por ano, com pautas abordando aspectos da rede, como reclamações ou solicitações de melhorias. Esta rede seria apenas para segurança pública e defesa, a partir disto, criar-se-ia diretrizes de, por exemplo, todo aeroporto terá que compartilhar as imagens das câmeras com o SUSP, todo concessionário de serviço público que possua vídeo monitoramento deverá disponibilizar este recurso para SUSP, etc.

Fonte: Elaboração própria a partir da análise das entrevistas com especialistas em CC.

APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO DIMENSÃO TECNOLOGIA

- 1) NOME DO ÓRGÃO:
- 2) Qual o sistema de radiocomunicação utilizado?
() TETRAPOL () TETRA () APCO 25 () Outros:
- 3) Qual modelo/fabricante das ERBs e *Control Nodes* atuais?
Levantamento baseado na metodologia de Mwanza (2001) / levantamento adaptado para a linguagem usual, aplicado para o sujeito “especialista”.
- 4) Como os especialistas configuram as ERBs com relação aos canais, para conseguir prover estrutura que viabilize comunicações críticas de forma segura, eficaz, eficiente e ininterrupta? / Qual a capacidade máxima de canais das ERBs utilizadas e, qual a configuração utilizada na rede?
- 5) Como os especialistas configuram as repetidoras com relação aos canais, para conseguir prover estrutura que viabilize comunicações críticas de forma segura, eficaz, eficiente e ininterrupta? / Qual a capacidade máxima de canais da repetidora e, qual a configuração utilizada na rede?
- 6) Quais parâmetros que os especialistas consideraram para que a interface aérea provesse comunicações críticas de forma segura, eficaz, eficiente e ininterrupta? / Quais parâmetros de cobertura foram considerados para o projeto? () Apenas cobertura *outdoor* () Cobertura *outdoor* e *indoor* apenas para pontos notáveis como aeroportos () Cobertura *outdoor* e *indoor* () Outros. Quais?
- 7) Os especialistas realizaram ajustes nos modelos de propagação da interface aérea para prover comunicações críticas de forma segura, eficaz, eficiente e ininterrupta? / Foram feitos ajustes do modelo de propagação para escolha dos pontos para instalação das ERBs? () NÃO () SIM. Como foram feitos estes ajustes? Exemplo: gerador de radiofrequência em locais específicos com varredura da região através de *drive test*, delimitando cluster como *dense urban, suburban*, etc. Com posterior ajuste dos coeficientes do modelo de propagação na ferramenta de predição de cobertura.
- 8) Como os especialistas realizaram as instalações das ERBs nas torres de telecomunicações, salas e contêineres para prover comunicações críticas de forma segura, eficaz, eficiente e ininterrupta? / Como foram realizadas as instalações dos equipamentos nas estruturas verticais e terrenos? Parcerias para instalação dos equipamentos nos sites ou instalações

em locais próprios? () Locais Próprios () Parcerias. Que tipo? () Estações de operadoras de telefonia; () Órgãos do governo; () Particulares com pagamento de aluguel; () Particulares com cessão de uso gratuito; () Outros. Quais?

- 9) Qual o percentual de locais com interface aérea (cobertura) atendidas pelo atual sistema de radiocomunicação para prover comunicações críticas de forma segura, eficaz, eficiente e ininterrupta? / Qual a área de cobertura da região atendida pelo atual sistema de radiocomunicação? Quais estados? Quais cidades? Qual o percentual aproximado com relação à área de atuação da polícia x área de cobertura da rede de radiocomunicação?
- 10) Como locais *indoor*, como, por exemplo, aeroportos, utilizam as ERBs ou Reforçadores de sinal para prover comunicações críticas de forma segura, eficaz, eficiente e ininterrupta? / Existem ERBs ou reforçadores de sinal instalados para cobertura específica *indoor*? () NÃO () SIM. Quais locais? (exemplo: aeroportos)
- 11) Para atendimento dos locais que necessitam de cobertura da rede, quantas ERBs existem atualmente instaladas para que ocorram as comunicações críticas de forma segura, eficaz, eficiente e ininterrupta? / Quantas ERBs existem atualmente instaladas para o atual sistema de rádio? *Outdoor*: ___ ; *Indoor*: ___.
- 12) Os locais que necessitam de cobertura da rede são atendidos por ERBs ou Repetidoras, para que ocorram as comunicações críticas de forma segura, eficaz, eficiente e ininterrupta? / Todas as regiões são atendidas por ERBs (sistema *trunking* interligado ao *control node*) ou existem áreas atendidas por repetidoras táticas? () Não utilizamos repetidoras táticas para prover cobertura fixa em localidades () SIM. Quais estados? Quais cidades? Qual o percentual aproximado com relação à área de atuação da polícia x área de cobertura dos repetidores?
- 13) Como os especialistas utilizam as repetidoras para que ocorram as comunicações críticas de forma segura, eficaz, eficiente e ininterrupta? / Estas repetidoras estão interligadas entre si ou funcionam de forma isolada como uma bolha tática? Estão interligadas com a Rede Fixa (ERBs)? Estão interligadas com alguma rede de dados? Como se dão estas interligações?
- 14) Como as regiões de fronteira tem a interface aérea (cobertura) atendida para que ocorra as comunicações críticas de forma segura, eficaz, eficiente e ininterrupta? / Como se dá a cobertura em áreas remotas como fronteiras? () Rede fixa () Repetidor () Rede fixa + Repetidor () Não é atendido

- 15) Como os especialistas atuam nas estações de programação, gerenciamento e controle; terminais de radiocomunicação; estação de geração de chaves de criptografia; controladores de rede; ERBs; torres de telecomunicações e repetidores para viabilizar que as comunicações críticas de forma segura, eficaz, eficiente e ininterrupta? / Existe contrato de manutenção para a atual rede de rádio? () SIM. O que está incluso neste contrato? Qual o custo anual do contrato? Qual o modelo de contrato de manutenção, por exemplo, acionamento de bilhetes com tempo de resolução pré-determinado? () NÃO. Como se dá manutenção da rede?
- 16) Os especialistas fazem uso de softwares de gerenciamento para que ocorram as comunicações críticas de forma segura, eficaz, eficiente e ininterrupta? / São utilizados softwares auxiliares para ajudar no gerenciamento da rede (análise dos *logs* de uso, relatórios de falhas, controles diversos)? () Não é realizado gerenciamento da rede pelo órgão () Não, apenas os softwares do próprio sistema de rádio, sendo estes: () SIM. Quais?
- 17) Como os locais são atendidos em caso de falha nas ERBs para que não haja indisponibilidade de serviço, viabilizando, desta forma, a operação das comunicações críticas de forma segura, eficaz, eficiente e ininterrupta? / Existe rede de rádio redundante caso ocorra problema na rede fixa (ERBs e *Control Nodes*)? () NÃO () SIM, em caráter definitivo () Apenas em ocasiões específicas como, por exemplo, grandes operações policiais ou grandes eventos () Outros. Especificar:
- 18) Em locais remotos como regiões de fronteira, que tipo de links de dados são utilizados para viabilizar a operação das comunicações críticas de forma segura, eficaz, eficiente e ininterrupta? / São utilizadas conexões de satélite com o atual sistema de rádio em operações em áreas remotas? () NÃO () SIM. Como é realizada esta conexão? Que equipamento é utilizado? É pago um valor mensal ou pelo uso do equipamento?
- 19) Como as instituições e centros de controle monitoram as ERBs e repetidoras para garantir a operação das comunicações críticas de forma segura, eficaz, eficiente e ininterrupta? / São utilizadas câmeras de monitoramento nas ERBs e Repetidoras? () NÃO () SIM. Como é transmitida a imagem? No mesmo circuito de dados/*link* do sistema ou de outra forma? Qual equipamento é utilizado?
- 20) Os usuários utilizam aplicativos de dados via rádio para viabilizar comunicações críticas de forma segura, eficaz, eficiente e ininterrupta? / Os usuários utilizam aplicativos de

transmissão de dados via rádio, como, por exemplo, georreferenciamento?
() NÃO () SIM. Quais?

- 21) No órgão de segurança ou defesa, quantos terminais de radiocomunicação portáteis, móveis e fixos existem para viabilizar comunicações críticas de forma segura, eficaz, eficiente e ininterrupta? / Quantos terminais portáteis, móveis (instalados em viatura) e fixos (instalados em bases) existem atualmente na rede?
- 22) Os usuários utilizam quais acessórios para rádios portáteis para a realização de comunicações críticas de forma segura, eficaz, eficiente e ininterrupta? / Quais acessórios para rádio portátil são utilizados pelos usuários?
- 23) Em situações críticas ou eventos com grande concentração de pessoas, como usam as repetidoras táticas para a realização de comunicações críticas de forma segura, eficaz, eficiente e ininterrupta? (como, por exemplo, através de carros táticos com mastro telescópico, instalado em algum local fixo, etc.) / Em situações críticas ou eventos com grande concentração de pessoas, como usam as repetidoras táticas? (por exemplo, através de carros táticos com telescópico, instalado em algum local fixo, etc.)
- 24) O órgão de segurança ou defesa, utiliza gateway para interligar redes distintas para a realização de comunicações críticas de forma segura, eficaz, eficiente e ininterrupta? / É realizada integração com outros sistemas de radiocomunicação (VHF Analógico, TETRA, TETRAPOL, APCO 25)? () NÃO () SIM. Com outros sistemas dentro do próprio órgão ou com outros órgãos?
- 25) Existe algum CICCR ao qual os órgãos de segurança e defesa se reportem para a realização de comunicações críticas de forma segura, eficaz, eficiente e ininterrupta? / Existe algum CICCR na região de atuação do órgão, ao qual este se reporte?
- 26) Os especialistas utilizam algum software para planejamento, dimensionamento e otimização da rede para a realização de comunicações críticas de forma segura, eficaz, eficiente e ininterrupta? / É utilizado pelo órgão algum software para planejamento, dimensionamento e otimização da rede? () NÃO () SIM. Qual?
- 27) O órgão de segurança ou defesa realiza drive tests periódicos para otimização e análise de qualidade da rede, visando garantir comunicações críticas de forma segura, eficaz, eficiente e ininterrupta? / Realizam drive test periódicos para otimização e análise de qualidade da rede () NÃO () SIM. Qual software utilizam? É realizado pela equipe

técnica do órgão ou por empresa contratada? Qual empresa? Qual a periodicidade? Quais regiões?

- 28) Em grandes eventos como utilizam as ERBs e repetidoras táticas para garantir comunicações críticas de forma segura, eficaz, eficiente e ininterrupta? / Como atendem à demanda de tráfego e cobertura em grandes eventos? () aumentam canais das ERBs com instalações temporárias () são instaladas ERBs móveis em pontos estratégicos com previsão de alto tráfego () são instaladas repetidoras isoladas () são instaladas repetidoras interligadas com a rede fixa () não são realizadas alterações na rede () Outros:

APÊNDICE C – QUESTIONÁRIO DIMENSÃO TECNOLOGIA, PRINCIPAIS FERRAMENTAS

Percepção das ‘estações de programação, gerenciamento e controle’, sendo estas: estação de gerenciamento e controle das ERBs e *Control Nodes*; estação de programação dos terminais; e estação de operação e despacho:

Marcar com as numerações de 1 a 5, onde 1 = excelente; 2 = bom; 3 = regular; 4 = ruim; 5 = péssimo.

Com relação à facilidade de execução de comandos para realização das tarefas:

- 1) Criação de grupos:
- 2) Fusão de grupos:
- 3) Gerenciamento de grupos:
- 4) Habilitação de terminais na rede:
- 5) Inclusão dos terminais em grupos:
- 6) Exclusão dos terminais em grupos:
- 7) Escuta ambiental dos terminais:
- 8) Gravação das conversações dos grupos:
- 9) Configuração de chaves de criptografia nos terminais:
- 10) Gerenciamento dos terminais:
- 11) Cancelamento de terminais em caso de extravio:
- 12) Localização de terminais (georreferenciamento):
- 13) Auditoria de configurações realizadas por usuários:
- 14) Confiabilidade (probabilidade de um equipamento funcionar normalmente em condições de projeto, por um determinado período estabelecido sem apresentar defeitos):
- 15) Falha Prematura (taxas de falhas no início da utilização do equipamento):
- 16) Período do desgaste acelerado (caracterizado pela redução significativa do tempo médio entre falhas - MTBF. O aumento progressivo da taxa de falhas e custos crescentes de manutenção, associado a vida útil do equipamento e também a este tornar-se obsoleto), para esta questão, as pontuações serão: 1) entendo que os equipamentos ainda não atingiram o período de desgaste acelerado, estando instalados e em operação a ___ anos. 2) apenas alguns componentes das estações parecem ter entrado neste período de desgaste acelerado após ___ anos de uso. 3) grande parte dos componentes das estações parecem ter entrado neste período de

desgaste acelerado após ___ ano de uso. 4) a maioria dos componentes das estações parecem ter entrado neste período de desgaste acelerado após ___ anos de uso. 5) entendo que todos os equipamentos começaram a apresentar características de estar nesse período após ___ anos.

17) Existe alguma falha ou defeito recorrente? Em caso da resposta for não, marque a pontuação 1. Se a resposta for sim, avalie o nível de criticidade da falha, variando de 2 a 5, sendo 2 considerado pouco crítico e 5, crítico.

- Durabilidade do equipamento (relacionado a taxa de falhas e quebras) da:

18) **Estação de gerenciamento e controle das ERBs e *Control Nodes*:**

19) **Estação de programação dos terminais:**

20) **Estação de operação e despacho:**

- Percepção dos **acessórios para rádio portátil:**

21) Praticidade e confiabilidade nas conexões do acessório para o terminal do tipo **clipe:**

22) Praticidade e confiabilidade nas conexões do acessório para o terminal do **Kit discreto** (fone de ouvido + PTT):

- Durabilidade dos equipamentos (relacionado a taxa de falhas e quebras) do:

23) **Clipe:**

24) **Kit discreto:**

- Percepção dos terminais portáteis, móveis e bases fixas.

Terminais móveis e bases fixas, considerando o modelo mais utilizado no órgão:

25) *Interface:*

26) Facilidade em visualizar as informações no *display* em local externo com luz do sol direto:

27) Facilidade de efetuar comandos utilizando *display* e teclado:

28) Robustez a impactos e intempéries:

29) Durabilidade do equipamento (relacionado à taxa de falhas e quebras):

Terminais portáteis, considerando o modelo mais utilizado no órgão:

30) *Interface:*

31) Facilidade em visualizar as informações no *display* em local externo com luz do sol direto:

32) Facilidade de trocar a bateria:

33) Durabilidade da bateria (considerando baterias dentro do tempo de vida útil):

34) Facilidade de efetuar comandos utilizando *display* e teclado:

- 35) Facilidade de conectar carregador individual:
- 36) Robustez a impactos e intempéries:
- 37) Durabilidade do equipamento (relacionado à taxa de falhas e quebras):
- Percepção das **ERBs e equipamento tático (repetidoras), responder com 2 pontuações, a primeira referente à ERB e a segunda referente à repetidora.**
- 38) Cobertura em condições normais (relacionado a potência do equipamento):
- 39) Confiabilidade (probabilidade de um equipamento funcionar normalmente em condições de projeto, por um determinado período estabelecido sem apresentar defeitos):
- 40) Falha Prematura (taxas de falhas no início da utilização do equipamento):
- 41) Período do desgaste acelerado (caracterizado pela redução significativa do tempo médio entre falhas - MTBF. O aumento progressivo da taxa de falhas e custos crescentes de manutenção, associado a vida útil do equipamento e também a este tornar-se obsoleto), para esta questão, as pontuações são dadas da seguinte forma: 1, entendo que os equipamentos ainda não atingiram o período de desgaste acelerado, estando instalados e em operação a __anos. 2, apenas alguns componentes das estações parecem ter entrado neste período de desgaste acelerado após __anos de uso. 3, grande parte dos componentes das estações parecem ter entrado neste período de desgaste acelerado após __ano de uso. 4, a maioria dos componentes das estações parecem ter entrado neste período de desgaste acelerado após __anos de uso. 5, entendo que todos os equipamentos começaram a apresentar características de estar nesse período após __anos.
- 42) Existe alguma falha ou defeito recorrente? Em caso da resposta for não, marque a pontuação 1. Se a resposta for sim, avalie o nível de criticidade da falha, variando de 2 a 5, sendo 2 considerado pouco crítico e 5, crítico.
- Percepção da '**interface aérea**'
- 43) Clareza da chamada:
- 44) Latência (tempo necessário para que as informações sejam enviadas e recebidas, atraso entre transmissão e recepção):

APÊNDICE D – ELABORAÇÃO DE MODELO PARA POC EM COMUNICAÇÃO CRÍTICA LTE

O encontro realizado pela ECC, discutiu opções para alcançar as melhores práticas para o estabelecimento de critérios a serem usados na definição de obrigações de cobertura para serviços móveis de voz e dados, e como essas obrigações poderiam ser aplicadas. Apesar destas considerações serem para operadoras comerciais, por ser a mesma tecnologia, LTE, e utilizar a banda de frequência em 800MHz, vizinha à banda de frequência utilizada para CC LTE em 700MHz, estas premissas serão consideradas e trazidas para o cenário de CC. Um resumo dos resultados apresentados pelo ECC (2014), para 800MHz, estão descritos no Quadro 34.

Pelas comparações realizadas entre o LMR e LTE, na seção 3.6 deste trabalho, pode-se concluir que os mesmos passos de projeto, implantação, operação, manutenção e gestão da rede, deverão ser adotados para o LTE, devendo ser levantados os dados referentes a todas as etapas, que podem ser obtidos adaptando-se o questionário idealizado para levantamento do cenário atual para sistemas LMR, como também, acrescentando questões entendidas como necessárias, seguindo os estágios de Mwanza (2001) para construção das questões.

Após melhor entendimento da atividade, também podem ser construídas diversas questões, baseadas na usabilidade e UX, através dos métodos de Jordan (1998) e heurísticas de Nielsen e Molich (1990), como também, perguntas com escalas similares as utilizadas na técnica do questionário SUS. Além das formas de elaboração de perguntas, sugeridas por Mwanza (2001), de forma que, no levantamento de cenário, sejam abordadas questões referentes as 6 caixas informacionais do modelo de AT. Estes questionários devem ser validados, em forma de pré-teste, com especialistas na área pesquisada.

Quadro 34 – Premissas para LTE em 800MHz de uso comercial em países europeus.

País	Obrigação de cobertura em vigor (por exemplo, serviço de voz, serviço de dados, estradas, cidades etc.)	Crítérios de cobertura - serviço de dados (por exemplo, taxa de bits, hora de pico / média do dia, etc.)	Método de comprovação
Áustria	Atendimento de 25% da população; cobertura adicional para municípios específicos, etc.	<i>Downlink</i> de 2 Mbit/s e <i>uplink</i> de 0,5 Mbit/s para municípios específicos; <i>downlink</i> de 1 Mbit/s e <i>uplink</i> de 0,25 Mbit/s para 25% da população.	Simulações fornecidas pelas operadoras com condições de tráfego real, contendo localização das estações, tráfego e mapa de cobertura. As medidas de taxas de dados são realizadas com downloads de 3 minutos a partir de terminais da operadora. As medições são custeadas pelas operadoras.
Bélgica	30% da população 2 anos depois de obter licença. 70% da população 4 anos depois de obter licença. 98% da população 6 anos depois de obter licença. Obrigação suplementar (apenas para uma das licenças) para 60 cidades	3Mbit/s disponíveis 24h por dia, os 7 dias da semana	Sem definição para 4G. Em 3G são selecionados 1000 pontos de medição com terminais comerciais.

	específicas, 3 anos após a obtenção da licença. Estas obrigações podem ser alcançadas usando outras bandas (900 MHz, 1800 MHz, 2100 MHz e 2600 MHz).		
Croácia	50% do país 3 anos após o HAKOM declarar que existe um nível aceitável de interferência de países vizinhos. Refere-se à cobertura <i>outdoor</i> .	Não definido	Não definido
Chipre	Sem licenças na banda de 800MHz até o ano de 2014, quando foi realizado o questionário. Portanto, os dados para este país são referentes ao 4G (LTE, WiMAX), definido para bandas 900, 1800 e 2100 MHz. Para os dois operadores existentes, 40% de cobertura geográfica no prazo de 5 anos, a partir da data da alteração da sua licença (alterada em 2013). Para a NEWCOMER (licença emitida em 7 de fevereiro de 2014), cobertura geográfica de 40% no prazo de 3 anos a partir da data de emissão da licença e 65% de cobertura geográfica no prazo de 5 anos.	Acesso à <i>internet</i> de no mínimo 30Mbps para toda a área coberta.	Não definido
República Tcheca	Os distritos são divididos em 2 grupos, sendo o grupo A de baixa densidade de população e o grupo B, outros distritos. As obrigações são cobrir, dentro de 30 meses, pelo menos 30 dos 32 distritos do Grupo A. Em 5 anos, 100% dos distritos do grupo A e pelo menos 22 distritos do grupo B, e pelo menos 50% dos corredores de trânsito, autoestradas e vias expressas. Em 7 anos deve-se atender 100% dos distritos dos grupos A e B, determinadas ferrovias, autoestradas e vias expressas.	Velocidade de 2Mbps de <i>downlink</i> nos 7 primeiros anos, após este tempo, velocidade de 5Mbps. Deve ser coberto 95% da população de cada distrito, com 75% de probabilidade de cobertura interna sem o uso de uma antena externa.	SINR -5 dB, RSRP -109 dBm para sinal <i>outdoor</i> , cobrindo 75% <i>indoor</i> . Assume-se que com uma antena externa cobre-se 85% se pelo menos tiver ganho de 2,5 dB. As operadoras devem enviar mapas de cobertura.
Dinamarca	2 licenças no total. Uma licença sem obrigação de cobertura e uma licença com a obrigação de 98% de cobertura geográfica e 99,8% de cobertura populacional, em aproximadamente 1/3 dos distritos postais em 3 anos, após a obtenção da licença, cobertos com 10 Mbps <i>downlink outdoor</i> .	<i>Downlink</i> com 10 Mbps <i>outdoor</i>	Simulações ou medidas realizadas pelas operadoras.
Estônia	Somente redes com cobertura nacional alocada. A operadora deve ter pelo menos 199 estações <i>outdoor</i> , com cobertura de 95% do território (exceto cidades).	<i>Downlink</i> com 5 Mbps	As operadoras devem fornecer mapas de cobertura. A agência reguladora poderá realizar medições para verificar os dados fornecidos.
Finlândia	Na época do questionário possuía 3 operadoras com os seguintes critérios de atendimento para as operadoras 1, 2 e 3, respectivamente: cobertura de 97% da população 5 anos após obter a licença; 95% da população até 3 anos e 99% após 5 anos de obtenção da licença; 97% da população 5 anos depois de obter licença.	Cobertura básica	Não definido
França	90% de cobertura das áreas rurais em até 10 anos; 98% do país em até 12 anos e 99,6% em 15 anos.	A taxa de dados teórica máxima deve ser de pelo menos 60 Mbits no <i>downlink</i> para uma largura de banda de 10MHz. Para 5MHz, a taxa teórica deverá ser no mínimo de 30Mbps. Cobertura <i>outdoor</i> com 95% de probabilidade a qualquer momento.	Devem ser fornecidos mapas de cobertura em comparação com <i>drive tests</i> realizados, admitindo-se uma margem de erro de 5%, em comparação do <i>drive test</i> com a predição.

Alemanha	Os estados forneceram uma de regiões que ainda não tinham serviços de banda larga, divididos em estágios de prioridade. Somente quando 90% da população em uma região prioritária era coberta, pode-se liberar frequências para cobrir outra região no próximo estágio de prioridade. Esta estratégia foi definida para atendimento do objetivo político de implantação de banda larga em todo o território nacional.	Sem definição de critério específicos, contudo, o objetivo do governo já em 2014 era de proporcionar 50Mbps antes de 2018.	Testes em campo.
Islândia	Licença de uso para duas operadoras, sendo as obrigações da primeira, cobertura de 99,5% dos domicílios e empresas, 4 anos após a obtenção da licença com taxa de 10 Mbps. Após 8 anos, a taxa deverá ser de no mínimo 30 Mbps para a mesma área de cobertura. Para a segunda operadora, cobertura de 93,5% dos domicílios e empresas dentro de 4 anos após a obtenção da licença, com taxa de 10 Mbps. Após 8 anos, a taxa deveria ser de 30 Mbps, para a mesma área de cobertura.	Os valores seguintes são referentes aos 4 anos e 8 anos posteriores a obtenção da licença, respectivamente: 4 anos - <i>downlink</i> com 10 Mbps; 8 anos - <i>downlink</i> com 30Mbps, em algum horário durante um intervalo de observação de 24 horas, com um valor médio mínimo de, para 4 anos, 3.85Mbps, para 8 anos de 11,3 Mbps, para o mesmo intervalo de observação; Além de uma taxa mínima, para 4 anos, de 2,5Mbps, para 8 anos, de 7.5 Mbps, dentro de um intervalo de observação de 3 horas para o horário de pico de utilização.	Testes em campo com o equipamento TSMW Romes da ROS.
Irlanda	Cobertura de 70% da população em 3 anos	Os serviços de voz e dados não são diferenciados sob esta estrutura de licenciamento. A cobertura deve ser de no mínimo 95% da região em no mínimo 95% do tempo. Nível de sinal de 44 dBuV/m para 10MHz de banda.	Mapas de cobertura e <i>drive tests</i> , fornecidos pelas operadoras. Os testes devem ser realizados em terminais do tipo Swissqual
Itália	Uma lista de centenas de pequenos municípios está associada a cada bloco de frequência (exceto um), onde a cobertura do serviço de dados deve ser fornecida seguindo o calendário: antes de 31/12/2015, 30% dos municípios, em 800 MHz ou em outras frequências; antes de 31/12/2017, 75% dos municípios, em 800 MHz ou em outras frequências; antes de 31/12/2019, 37,5% dos municípios em 800MHz; antes de 31/12/2022, 75% dos municípios em 800MHz.	90% de probabilidade, em locais <i>outdoor</i> , em os momentos, de uma taxa mínima de dados para um usuário de 2Mbps.	Testes de campo.
Letônia	Obrigação de instalar pelo menos uma estação para 200 km ² (excluindo cidades principais) dentro de 3 anos, a partir da obtenção da licença.	Não definido	Não definido
Lituânia	Obrigação de instalar pelo menos uma estação para 200 km ² (excluindo cidades principais) dentro de 3 anos, a partir da obtenção da licença. Cobertura em 30% dos distritos em 3 anos; 80% em 5 anos e todo o território (exceto algumas regiões de borda) até 2020.	2Mbps para 50% das regiões até 3 anos após a obtenção da licença; 2Mbps para 85% das regiões após 5 anos; 4Mbps para 95% de todo o território até 2020.	<i>Drive Tests</i> , medições e simulações, baseadas na metodologia estabelecida pelo ministério. Equipamento utilizado para medições: Agilent E6474A.
Holanda	Cobertura geográfica definida por espectro licenciado de 2 x 5 MHz. Após 2 anos, 308 km ² ; após 5 anos, 7471 km ² .	Não definido	Não definido

	O operador terá de oferecer um serviço público de comunicações nesta região.		
Noruega	Acesso à banda larga móvel para 40% da população em até 4 anos após a obtenção da licença; 98% da população em 5 anos. Exigências para operadora licenciada na faixa de 800 MHz, com largura de banda de 2 x 10 MHz, podendo usar frequências em outras bandas para cumprir a meta.	Velocidade média de <i>download</i> , para locais <i>outdoor</i> , de no mínimo 2 Mbps a qualquer momento.	-
Portugal	Obrigação de oferecer cobertura a um certo número de municípios, em função da faixa de frequência atribuída. Um município é considerado coberto se possui, pelo menos, serviço de banda larga móvel.	O serviço de banda larga deve permitir uma taxa igual ou superior à proposta comercial acordada com os clientes.	As operadoras devem enviar mapas de cobertura e todos os parâmetros relevante para os cálculos, tendo como referência os níveis de sinal para UMTS, sendo estes: > -95dBm bom; > -105dBm aceitável; > -115dBm ruim; < -115dBm sem cobertura.
República Eslovaca	Atendimento de 25% da população até 31.12.2015; 50% da população até 31.12. 2017 e 70% da população até 31.12. 2018.	<i>Downlink</i> de 2 Mbit/s e <i>uplink</i> 256 kbit/s.	-
Eslovênia	Obrigação de cobertura para um dos lotes atribuídos, referente a uma largura de banda de 2 x 10 MHz ou 2 x 15 MHz: 95% da população, com 10 Mbps para <i>downlink outdoor</i> , incluindo 225 de 300 municípios. Devendo ser atendido em até 3 anos pelo menos 75% da população, com pelo menos 10 Mbps no <i>downlink</i> ou uma taxa de transferência de dados mínima de 2 Mbps.	Pelo menos 10 Mbps <i>outdoor</i> com uma taxa mínima de 2 Mbps. Para o <i>uplink</i> , uma taxa mínima de 1 Mbps.	-
Espanha	Obrigação das operadoras que possuem 2x10MHz ou mais do espectro, com licenças a partir de 2011, de disponibilizar 30 Mbit/s para 90% da população de regiões com menos de 5.000 habitantes. As áreas onde a taxa de 30 Mbit/s não estão disponíveis, podem ser atendidas através de outras tecnologias.	Não definido	Não definido
Suécia	Cobertura de pelo menos 75% dos domicílios permanentes e locais de negócios fixos, presentes em uma lista enviada pela autoridade sueca de correios e telecomunicações (PTS), até o final de 2013 e cobertura do restante das localidades da lista até o final de 2014.	Velocidade mínimas de acesso de 1 Mbps em algum intervalo de tempo em um dia. A taxa média deve atingir pelo menos 750 kbps e a taxa média para quatro horas consecutivas, quando a velocidade aferida for a menor do dia, seja de pelo menos 500 kbps.	-
Suíça	Cobertura de 50% da população até 31 de dezembro de 2018	Não definido	Não definido
Reino Unido	Até 31.12.2017, cobertura em uma região na qual pelo menos 98% da população do Reino Unido viva e 95% da população de cada um dos países, Inglaterra, País de Gales, Escócia e Irlanda do Norte.	90% de probabilidade de cobertura <i>indoor</i> a uma taxa de <i>downlink</i> não inferior a 2 Mbps, quando essa rede estiver pouco carregada.	Os resultados não serão verificados. Em alguma ocasião, podem ser coletadas medidas de campo. As operadoras devem enviar anualmente suas estimativas de cobertura, as metodologias adotadas para executar estas previsões estão descritas em http://stakeholders.ofcom.org.uk/binaries/consultations/award-800mhz/statement/4GCov-verification.pdf .

Fonte: Elaboração própria, adaptado de *Electronic Communications Committee* (2014); *Top Optimized Technologies* (2018).

Nos quadros das premissas LTE, não foi explicitado o item referente aos critérios de cobertura para serviço de voz, pois, na maioria dos países consultados, este item não é

especificado, algumas exceções são a Áustria, que determina cobertura *indoor* para municípios específicos, mais *outdoor*, considerando níveis de sinal *indoor* com 20 dB de atenuação em relação ao *outdoor*; e Islândia, onde é exigido nível de sinal de -85dBm para regiões com *clutter* densamente urbano e -100dBm, para áreas rurais.

Esta seção apresenta a elaboração de um modelo de cálculo, baseado na revisão bibliográfica e RSL, que serviram de base para a identificação dos requisitos técnicos adequados para cada utilização ou tipo de cobertura, denominados, neste trabalho, como cenários de uso. De acordo com a revisão, entendeu-se que os itens necessários para a PoC são:

- Elaboração de mapa de cobertura através da predição do sinal em comparativo com *drive test* na região analisada, considerando como ideal a cobertura que permita acesso a uma velocidade de 30 megabits por segundo (Mbps) ou superior, em pelo menos, a 90% da região verificada.
- Apesar de a velocidade de 30 Mbps ser tomada como referência ideal, este trabalho também sugere que conste na PoC, o cálculo específico dos limiares de sinal recebidos que permitam velocidades de usuário de 1, 10 e 30 Mbps. Assim como, realização de medições em regiões previamente determinadas, através de *drive test*, com o objetivo de apresentar os resultados obtidos através de mapas de cobertura versus velocidade de transmissão de dados.
- Devem ser verificados o funcionamento de algumas funcionalidades disponibilizadas pelo LTE para CC, no intuito de atestar o sistema em cenários reais, para distintas aplicações. Os diferentes cenários, apresentados nas seções seguintes, possibilita flexibilidade ao modelo, através da modificação de parâmetros para diferentes casos de uso, adaptando-os para a finalidade.
- Cada estágio de teste deve ser planejado previamente, a *Emergency Services Mobile Communications Programme* (ESMCP, 2018), por exemplo, planeja cada estágio de teste em 3 ciclos, permitindo, desta forma, tempo suficiente para identificar, corrigir e testar novamente quaisquer problemas encontrados e demonstrar que a nova tecnologia funciona bem antes de ser usada pelas agências de *Public Safety*.

O modelo apresentado neste trabalho, poderá ser utilizado como referência para o desenvolvimento de projetos realizados por órgãos de segurança e defesa para CC em LTE, bem como, valoração das soluções apresentadas por fornecedores de serviços e equipamentos.

Objetivo

Elaboração de um modelo de cálculo em que seja possível valorar nível de sinal recebido pelo móvel (*downlink*) que ofereça uma determinada velocidade de dados, ou, para determinada velocidade de dados, qual o nível de sinal recebido no móvel suficiente e necessário para atingir a velocidade estabelecida.

Desta forma, pretende-se realizar a caracterização de cobertura versus qualidade e velocidade de transmissão de dados, em redes LTE para CC, possibilitando a obtenção de um modelo de cálculo que identifique os requisitos técnicos necessários para os usos e coberturas determinados previamente, denominados a seguir como cenários de uso.

Elaboração de uma lista de funcionalidades do LTE, entendidas como importantes para os diferentes cenários em CC, de acordo com os requisitos levantados com usuários e especialistas, bem como, determinação dos procedimentos suficientes e necessários para validação das funcionalidades.

Estas medições devem ser obtidas partindo-se de condições da rede e serviços previamente determinadas e parametrizadas para cada uso, de acordo com recomendações técnicas descritas nas seções anteriores e baseadas em protocolos e relatórios internacionais, bem como, no levantamento de requisitos através de usuários e especialistas, realizado como uma das etapas da metodologia de seis passos para AT.

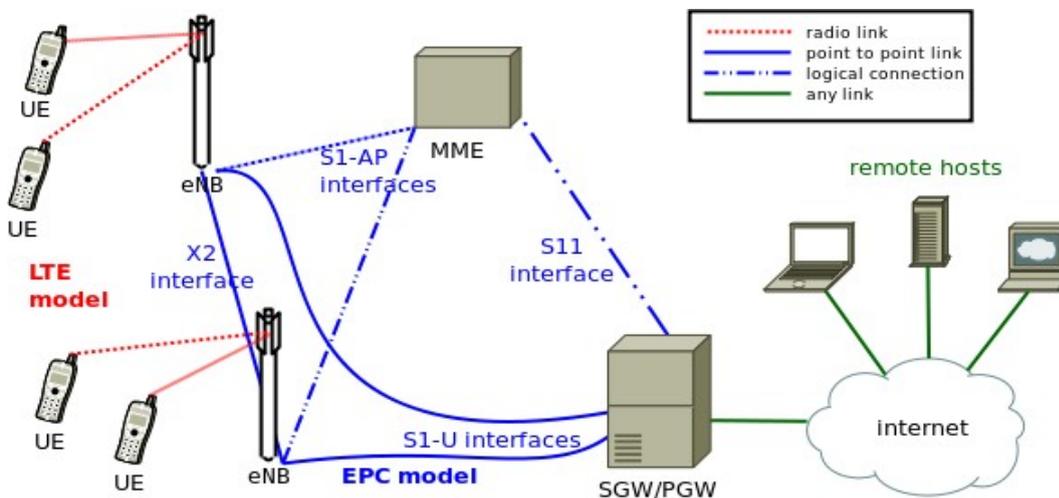
Estas medições visam fornecer os insumos necessários à realização da análise de amostra (prova de conceito), da solução apresentada pelos fabricantes de equipamentos de radiocomunicação digital em missão crítica para o LTE, quanto ao atendimento dos requisitos especificados pelas organizações internacionais, bem como, por organizações nacionais como a ANATEL, órgãos de segurança pública e defesa, e instituições de pesquisa e ensino.

Através da revisão de literatura, alguns artigos foram encontrados e utilizados como referência para a obtenção de um modelo de PoC para o Brasil, Kumbhar & Güvenç (2015) realizaram uma simulação para o LTE classe de banda 14, (classe utilizada na *FirstNet* nos EUA), para mensurar a taxa de transferência (*throughput*) de *uplink* e *downlink*, usando a ferramenta de código aberto NS-3. Os autores realizaram a simulação para 25 e 50 usuários, resultando nos dados obtidos na Figura 30.

A simulação baseou-se no modelo LENA LTE, que é um simulador de rede baseado no código NS-3, orientado para produtos de código aberto, permitindo que os fornecedores de estações LTE projetem e testem algoritmos e soluções (CENTRE TECNOLGIC DE TELECOMUNICACIONS DE CATALUNYA (CTTC), 2019). Para o LENA, o ambiente consiste em vários UEs, um eNodeB (eNB), uma máquina remota fornecendo serviços baseados

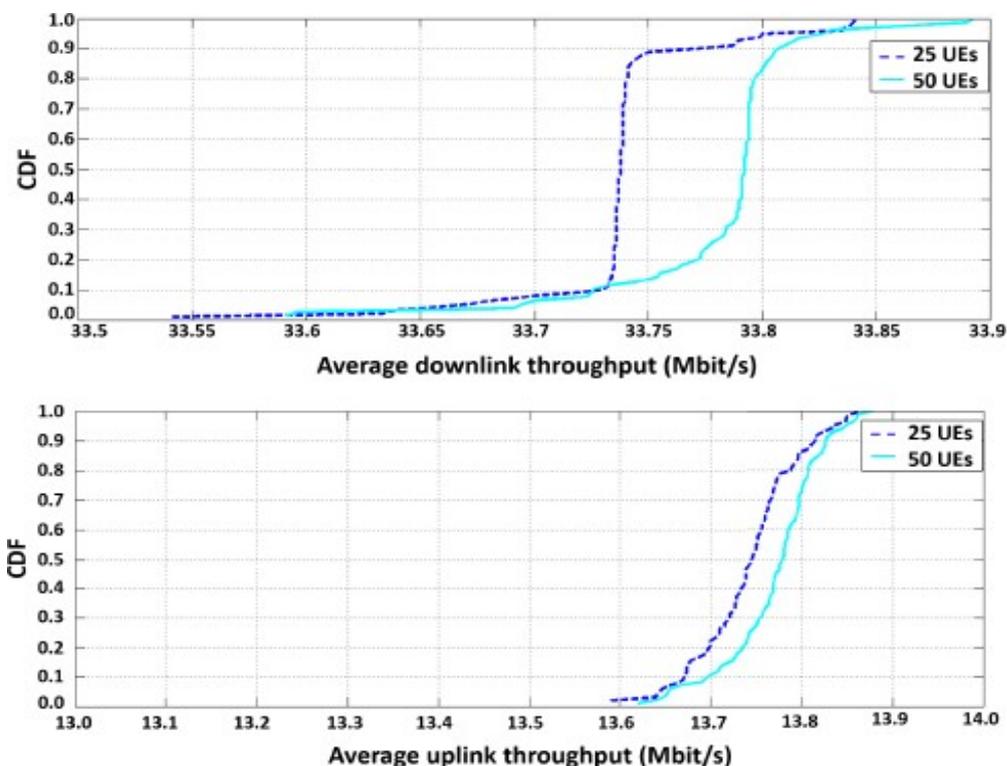
em IP aos usuários finais. Além disto, aplicações em *User Datagram Protocol* (UDP) são instaladas tanto no UEs quanto na máquina remota, conforme Figura 29.

Figura 29 – Topologia de rede para simulação de testes do LENA LTE.



Fonte: Extraído de CTTC (2019)

Figura 30 – Taxa de transferência em Mbits/se para *uplink* e *downlink*, com 25 e 50 UEs.



Fonte: Extraído de Kumbhar & Güvenç (2015).

Tendo o projeto ESMCP e *FirstNet* como referência, este estudo sugere que sejam realizados testes das funcionalidades: PTT, chamadas em grupo, chamada de emergência,

localização de dispositivos através de georreferenciamento, escuta ambiental, notificações de perda de cobertura enviada para o dispositivo móvel, *High Power User Equipment* (HPUE).

Além de testes de integração com outras redes, incluindo as redes legado dos órgãos em LMR; testes de conectividade IP, através de dispositivo conectado na rede LTE; chamada de voz e de vídeo e envio de mensagens de texto entre dispositivos da rede LTE, como também, chamada de voz e envio de mensagens de texto entre dispositivos das redes LTE e LMR.

Tendo como referência a parametrização e validação de redes de uso comercial LTE em 800MHz em 24 países europeus, conforme ilustrado no Quadro 34, este estudo sugere que sejam realizadas as valorações apresentadas a seguir.

1. Velocidade de dados para *uplink* e *downlink*, para medições *outdoor* e *indoor*, em situações de baixo e alto tráfego.

Devendo ser verificada em um intervalo de 24h, considerando, durante este intervalo, os valores de pico, valor médio e valor mínimo. Como também, estimar as velocidades médias atingidas em função de variações de tráfego da rede durante o dia. Portanto, será considerado que a velocidade de pico deve ser alcançada em uma rede com carga baixa, sendo entendida como tal com apenas um usuário. Tanto a célula servidora como as células vizinhas devem possuir um baixo nível de carga.

Com relação à medição com mais de um usuário na estação, a capacidade de transmissão de dados que uma célula pode oferecer é compartilhada entre todos os usuários que acessam simultaneamente a estação. Portanto, a velocidade média para cada usuário é reduzida, de acordo com o nível de concorrência entre os usuários, que, no que lhe concerne, está ligado à carga de tráfego da estação. Desta forma, deve-se utilizar alguma técnica para estimar a velocidade de dados para os usuários da rede com alto tráfego (TOP OPTIMIZED TECHNOLOGIES, 2018).

Para valores teóricos em baixa carga, este estudo adotará as premissas da Islândia, para operadoras com no mínimo 8 anos de licença, sendo estas: *downlink* com 30Mbps, em algum horário durante um intervalo de observação de 24 horas, com um valor médio mínimo de 11,3 Mbps, para o mesmo intervalo; além de uma taxa mínima de 7.5 Mbps, dentro de um intervalo de observação de 3 horas, para o horário de pico de utilização. Considerando ideal a cobertura que permita acesso a uma velocidade de 30 megabits por segundo (Mbps) ou superior, em pelo menos, a 90% por cento da região verificada.

O parâmetro de 30 Mbps também utilizou como referência a legislação da Espanha, onde as operadoras de LTE assumiram um compromisso de que os cidadãos de unidades populacionais de menos de 5.000 habitantes possuam esta velocidade de acesso, até 10/10/2020.

Desta forma, para homologação destas redes, o modelo foi gerado como uma referência para identificar o nível de sinal recebido com a tecnologia LTE que permita essa velocidade, considerando como ótimo que esta taxa seja atingida em 90% da região verificada (TOP OPTIMIZED TECHNOLOGIES, 2018).

Além disto, a Agenda Digital para a Espanha, pretende que até o ano 2020, todas as pessoas possam ter acesso a serviços de *internet* com velocidades acima de 30 Mbps. Adicionalmente, a nova Lei Geral de Telecomunicações espanhola, aprovada em 29 de abril de 2014, estabeleceu como objetivo que em 2017 fosse atingida uma velocidade mínima de internet de 10 Mbps (TOP OPTIMIZED TECHNOLOGIES, 2018).

Na Áustria, as simulações para verificação da velocidade de dados, são fornecidas pelas operadoras com condições de tráfego real, contendo localização das estações, tráfego e mapa de cobertura. As medidas de taxas são realizadas com *downloads* de 3 minutos.

No Reino Unido, através de um estudo realizado pela Ofcom, que é a autoridade reguladora e de concorrência do Reino Unido para os setores de radiodifusão, telecomunicações e correios. Através de parcerias com especialistas em medição e testes de banda larga das cinco redes móveis 3^ª, O2, Orange, T-Mobile e Vodafone, foram feitas medições dos principais indicadores de desempenho que afetam a experiência do consumidor, como navegação na *Web*, *download* de arquivos, jogos *on-line* e *streaming* de vídeo.

As medições incluíram velocidades de *upload* e *download*, tempos de *download* de páginas da internet, latência, tempos de resolução de DNS, perda de pacotes e instabilidade. Mais de 4,2 milhões de testes foram realizados de setembro a dezembro de 2010 usando 3 metodologias de coleta de dados e publicados em OFCOM (2011).

No estudo da Ofcom, foi tomado como parâmetro a velocidade média de *download*, que foi medida na época (2010) em 2,1 Mbits. Isso significa, por exemplo, que uma faixa de música de 5 MB seria baixada em cerca de 20 segundos e um de vídeo de 250 MB seria baixado em cerca de 17 minutos. O tempo médio para cada prova de teste para baixar páginas de sítios *web* populares do Reino Unido foi de 2,2 segundos. Mais da metade de todas as páginas (59%) foram baixadas em menos de 2 segundos, mas 12% das solicitações demoraram mais de 4 segundos (OFCOM, 2011).

Desta forma, para este estudo, recomenda-se que também sejam realizados *downloads* com tempo mínimo especificado, ou, largura do pacote de dados com definição mínima de tamanho, possibilitando verificar a velocidade do *download*, de acordo com tempo necessário para baixar o pacote de dados. Estas medições deverão ser realizadas tanto para situações de baixa carga, quanto para alto tráfego.

Para medição da taxa de dados em ambientes *indoor*, este estudo recomenda que sejam verificadas as mesmas taxas que as verificadas para ambientes *outdoor*, em locais previamente especificados, conforme descrito em parágrafos posteriores, relativo a recomendações de parametrização de nível de sinal mínimo para a região analisada.

Para definição de um modelo de carga da rede, o documento gerado para o governo da Espanha, através da empresa contratada, sugere para realização da estimativa, considerando alto tráfego na rede, a utilização de um modelo baseado na teoria das filas, especificamente uma fila M/D/1 na notação de Kendall (KENDALL, 1953).

A teoria das filas está dentro da área de matemática da probabilidade, onde, um M/D/1 representa o comprimento da fila, considerando um sistema com um único servidor, onde as chegadas são determinadas pela distribuição de Poisson e os tempos de trabalho são fixos (determinísticos). Agner Krarup Erlang, publicou sobre este modelo em 1909, e atualmente a unidade de tráfego de uma estação é dada em Erlang, em sua homenagem.

Este modelo assume uma série de hipóteses, descritas em *Top Optimized Technologies* (2018) e citadas a seguir:

A Transmissão de dados geralmente ocorre em rajadas, desta forma, considerando uma simplificação através de uma distribuição de Poisson, que é uma distribuição de probabilidade de variável aleatória discreta, com uma taxa λ de chegada dos pacotes, leva-se em consideração que para o LTE, os usuários enviam pacotes de comprimento igual ao tamanho do bloco de recursos, independentes um dos outros e distribuídos segundo a distribuição de Poisson.

Considerando-se uma única estação atendendo os usuários, sem o uso de transmissões paralelas, ou seja, obedecendo a um esquema de multiplexação no tempo, TDMA, o tempo de serviço de cada pacote é dado pela variável 'D', sendo determinístico e igual ao tempo TTI, com uma taxa de serviço ' μ ' dada por:

$$\mu = \frac{1}{D}$$

Sendo o fator de carga da rede representando a porcentagem de TTIs ocupados e definido por:

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu}$$

Estando relacionada com a carga de rede definida como um percentual da potência utilizada sobre a máxima potência disponível por célula. O tempo médio de espera no sistema será:

$$W = \frac{1}{2\mu} * \frac{2-\rho}{1-\rho}$$

Se não houvesse concorrência de usuários na rede, o tempo de serviço seria igual a $1/\mu$, contudo, devido ao tráfego, a velocidade da rede é menor que a máxima alcançável, através da seguinte relação:

$$velocidadedecarga = \frac{\text{velocidade máxima}}{\frac{2-\rho}{2(1-\rho)}}$$

O horário de pico de tráfego depende dos hábitos dos usuários da rede e não da concentração destes em um determinado local, portanto, a relação entre velocidade média diária e a velocidade de pico, depende exclusivamente do perfil de utilização da rede ao longo do dia.

A partir da análise das amostras, o estudo da OFCOM (2011) concluiu que, as velocidades médias, durante o horário de pico, que para o experimento no Reino Unido foi o intervalo das 20h às 22h, para assinantes que contrataram pacotes até 8Mbits e que contrataram pacotes até 20Mbits, foram respectivamente, 78% e entre 75% a 95%, das velocidades máximas que poderiam ser atingidas. Já as velocidades médias de *download*, considerando 24h do dia, para os 2 tipos de pacotes analisados, foram respectivamente, de 40 a 60% e entre 30 a 50%, das velocidades anunciadas pelas operadoras.

Portanto, considerando os estudos analisados, podem ser tomadas como referência para velocidade de *download*, velocidades em horário de pico de tráfego, velocidade média em horário de pico de tráfego, velocidade média para 24h de amostragem e velocidade máxima atingida, estas, tendo como referência a velocidade máxima possível de ser atingida, considerando o contratado com a operadora e/ou o anunciado pelo fabricante do equipamento, ou até mesmo, o calculado através da capacidade da rede e largura de banda disponível, conforme demonstrado anteriormente.

Outra conclusão dos estudos realizados pela OFCOM (2011) é que a velocidade de *download* diminui consideravelmente com o aumento da distância do UE para a estação, para as tecnologias analisadas, essa distância a partir da qual as taxas começavam a ter uma redução drástica foi de 3Km.

Com relação ao *upload*, enquanto o mercado tende a se concentrar nas velocidades de *download*, por serem importantes para a maioria dos aplicativos de consumo, as velocidades de *upload* são importantes, principalmente para os usuários que desejam compartilhar arquivos grandes, ou utilizam comunicações de vídeo bidirecionais em tempo real, ou, até mesmo, que necessitem transmitir vídeos em tempo real, como no caso de agentes de segurança transmitindo imagens para o CICCRR, através de uma *bodycam*, em uma situação operacional, onde uma decisão crítica precisa ser tomada baseada nestas imagens.

Para serviços de banda larga, as operadoras costumam configurar suas redes de modo a oferecer velocidades de *upload* muito inferiores às velocidades de *download*. A partir da análise das amostras, o estudo da OFCOM (2011) concluiu que as velocidades médias, considerando 24h do dia, para os 2 tipos de pacotes analisados, de 8Mbits e 20Mbits, foram de 0,4Mbits e 0,8Mbits, respectivamente.

Para CC, devido às particularidades de atuação, de acordo com os requisitos levantados através de entrevistas, este estudo recomenda que as velocidades de *upload* sejam consideradas, devendo também ser estabelecido um percentual mínimo, em relação à velocidade de *download* ofertada, que garanta o estabelecimento de conexões com qualidade, confiabilidade e em tempo real, para UEs que necessitam destes serviços, como, por exemplo, *bodycam* utilizadas pelos agentes de polícia durante uma operação policial. Recomenda-se que sejam realizadas amostras, deste tipo de transmissão, em ambientes *indoor* com características de edificação similares às encontradas no teatro de operações no Brasil.

Embora as velocidades de transferência de *download* e *upload* serem os parâmetros mais significativos do desempenho geral de uma conexão de banda larga, outros fatores também têm impacto e podem ser mais importantes para algumas aplicações. De acordo com o estudo da OFCOM (2011), outros fatores que impactam na experiência do consumidor do serviço, são: velocidade de navegação na *web*; latência; perda de pacotes; resolução do *Domain Name Server* (DNS); falha de DNS e *jitter*. Portanto, este trabalho também recomenda que estes itens sejam verificados.

2. Nível de sinal mínimo para a região analisada *outdoor* e *indoor*

Para este estudo será considerado um desvio máximo de 5%, verificado através da predição de cobertura em comparação com o *drive test* da região, ou seja, conforme adotado na Irlanda, a cobertura deve ser de no mínimo 95% da região em no mínimo 95% do tempo. Tendo o nível sinal as mesmas referências dos níveis de sinal para UMTS adotado em Portugal, sendo estes: > -95dBm Bom; > -105dBm aceitável; > -115dBm Ruim; <-115dBm sem cobertura (ELECTRONIC COMMUNICATIONS COMMITTEE (ECC), 2014).

A Áustria considera também cobertura *indoor* para localidades específicas, mais *outdoor*, considerando níveis de sinal *indoor* com 20 dB de atenuação em relação ao nível *outdoor* (ELECTRONIC COMMUNICATIONS COMMITTEE (ECC), 2014). Como os parâmetros buscados são para utilização do LTE em CC, o que envolve segurança nacional, alguns pontos são considerados estratégicos, devendo necessariamente possuir uma cobertura *indoor* que garanta uma boa conexão de dados, como, por exemplo, em aeroportos.

Desta forma, para aceitação da rede, este trabalho recomenda que algumas edificações deverão possuir necessariamente cobertura *indoor*, com nível de sinal $> -95\text{dBm}$; em, no mínimo, 95% da região; para, no mínimo, 95% do tempo. Atendendo os mesmos parâmetros de dados que os descritos anteriormente. Recomenda-se que os órgãos relacionados à atividade de *Public Safety*, forneçam para ao projetista uma lista destes locais considerados críticos.

Nestas edificações, deverão ser realizadas medições *indoor*, através de *walk test*, que segue os mesmos procedimentos do *drive test*, contudo, é realizado pelo técnico andando pelo local com *notebook*, *software* de *walk test* mais UEs, utilizando planta baixa para referenciar o local da medição, ao invés de coleta através do GPS.

Para realização da PoC, podem ser realizados testes em uma região *outdoor* e no interior de uma edificação, de preferência, em uma construção que se assemelhe às utilizadas no teatro de operação para atividades de CC no Brasil. De acordo com a recomendação da Áustria, que considera 20dB a atenuação média de uma construção, para garantir nível de sinal $> -95\text{dBm}$ no interior do prédio, o nível *outdoor* na região deverá ser $> -75\text{dBm}$.

Portanto, recomenda-se medição *outdoor*, ao redor do prédio, antes da realização das medições *indoor*. Para atendimento de uma área interna, também poderão ser utilizados eNodeBs no interior da edificação, com antenas *indoor* fixadas dentro do prédio. Para estes casos, não é necessária a verificação do nível de sinal *outdoor*.

3. Testes de funcionalidades

A seguir são listados alguns recursos que, através da revisão bibliográfica e opinião dos especialistas, nesta pesquisa concluiu-se que devem ser testados. Esta seção tem como objetivo, ilustrar como deve ser construído o caderno de testes, com indicação dos procedimentos suficientes e necessários para a realização das atividades. Os 4 procedimentos listados abaixo são exemplificativos, não exaustivos, portanto, outros testes podem ser acrescentados, caso o pesquisador entenda ser necessário.

Verificação de chamadas de grupo, entre dispositivos das redes LTE e LMR

1) Teste 1

- Objetivo: verificar o funcionamento de chamadas em grupo pela rede LTE, como também, verificar a interoperabilidade desta chamada com a rede LMR.
- Pré-requisitos:
 - a) O *trunk* - GW está funcionando corretamente.
 - b) A rede LTE está funcionando corretamente.
 - c) O sistema de banda LMR (APCO 25, TETRA, TETRAPOL) está funcionando corretamente.

- d) O *trunk* - GW interconecta-se adequadamente ao sistema LMR.
- e) Os grupos de comunicação da rede LMR interligam-se aos grupos das redes LTE.
- f) Existência de 1 ou mais UEs LTE configurado para o grupo, diferente do que será utilizado para originar a comunicação.
- g) Existência de 1 ou mais terminal LMR, diferente do que será utilizado para originar a comunicação, configurado no grupo.
- Procedimento 1: Com o terminal LMR funcionando no modo troncalizado, TMO, inicie uma chamada em grupo no rádio e observe o *status* de escuta dos membros do grupo.
- Procedimento 2: Com o terminal LTE funcionando no modo rede, inicie uma chamada em grupo no rádio e observe o *status* de escuta dos membros do grupo.
- Resultados esperados: Os membros do grupo conseguem escutar a chamada de voz com clareza e fluência, tanto através dos terminais LTE, quanto dos terminais LMR.
- Resultados obtidos:
- Observações:

Envio de vídeos através dos dispositivos móveis da rede LTE.

2) Teste 2

- Objetivo: verificar se a função de envio de imagens em tempo real dos terminais portáteis está disponível.
- Pré-requisitos:
 - a) Toda a rede está funcionando corretamente.
 - b) O eDC se inscreveu para o UE 1.
 - c) O eDC tem permissão para envio de vídeo.
- Procedimento 1: Fazer o *login* no eDC e selecione UE 1. Clique no ícone para exibir a caixa de diálogo de configurações de vídeo e configure os parâmetros para o serviço de vídeo.
- Resultados esperados: os vídeos são enviados em tempo real do UE 1.
- Resultados obtidos:
- Observações:

3) Teste 3

- Objetivo: verificar se o UE pode enviar vídeos de diferentes resoluções.

- Pré-requisitos:
 - a) Toda a rede está funcionando corretamente.
 - b) O UE acessa a rede normalmente.
 - Procedimento: Pressione a tecla Home no UE para entrar na tela inicial. Pressione o ícone de envio de vídeo. Selecione as configurações de vídeo para alterar os parâmetros para envio de vídeo, incluindo o número eDC e a resolução. Pressione o ícone para enviar o vídeo. Pressione o ícone que informa o usuário sobre a resolução, taxa de bits e taxa de perda de pacotes do envio do vídeo. Altere a resolução de vídeo para uma qualidade inferior e verifique novamente as informações.
 - Resultados esperados: a página de envio de vídeo é exibida, sendo possível configurar os parâmetros antes de enviar. É possível enviar um vídeo para outro terminal. O envio do vídeo é estabelecido com sucesso. Os valores da resolução, taxa de bits e taxa de perda de pacotes são normais. É possível verificar a resolução, a taxa de bits e a taxa de perda de pacotes do vídeo. É possível alterar a resolução do vídeo e verificar as taxas.
 - Resultados obtidos:
 - Observações:
- #### 4) Teste 4
- Objetivo: verificar o envio de vídeo através de uma *bodycam*
 - Pré-requisitos:
 - a) Toda a rede está funcionando corretamente.
 - b) A *bodycam* acessa a rede normalmente.
 - Procedimento 1: no sistema gerenciador de aplicativos deve-se escolher a tela de *upload* de vídeo e configurar o número de destino, selecionando um UE que possua habilitado a função de envio rápido de vídeo através de tecla rápida de acesso, denominada no sistema de alguns fabricantes como *one-key*.
 - Procedimento 2: Faça o *login* no eDC com o número alvo. Pressione e segure o botão de coleta de vídeo na *bodycam*. Ative o eDC para aceitar o vídeo.
 - Resultados esperados: o número de destino e o UEs são habilitados com sucesso com a função *one-key*. O eDC do número de destino recebe o pedido de envio de vídeo da *bodycam*. O envio de vídeos é realizado com sucesso.
 - Resultado obtido:

- Observações:

Recursos

A seguir são listados os recursos necessários para realização dos testes, podendo ser utilizados todos ou algum destes, de acordo com a disponibilidade e necessidade de aplicação.

- Recursos humanos

Necessidade de participação de pessoas com conhecimento técnico sobre sistemas de radiocomunicação digital para CC e redes LTE. Recomenda-se que nos órgãos de segurança e defesa sejam constituídos grupos de trabalho, visando realizar estudos e testes para auxiliar no processo de tomada de decisão por parte dos gestores, quanto ao futuro de suas redes de CC.

No âmbito da PF, foi constituído um grupo de trabalho para realizar estudos técnicos com relação ao futuro da comunicação crítica na PF, de acordo com a Portaria nº 8.969-DG/PF de 29 de novembro de 2018. Cabendo aos grupos de trabalho as seguintes atividades durante a PoC (BRASIL, TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO, 2013):

- 1) Garantir a plena execução de todas as atividades relativas à prova de conceito.
- 2) Analisar se os dados disponibilizados pelo fabricante são representativos e adequados para fins de avaliação dos requisitos do sistema.
- 3) Emitir a declaração de conclusão da PoC.
- 4) Emitir o termo de aceite da PoC ou de recusa da solução, especificando, no último caso, a motivação para a recusa.
- 5) Propor de cenários e casos de teste, para realização da PoC.
- 6) Assegurar o preenchimento do campo “resultado obtido”, para cada teste de requisito funcional, que deve ser devidamente assinado pelo responsável pela execução do caso de teste.
- 7) Elaborar documentos intitulados “Ata da fase de instalação, configuração, parametrização e customização” e “Ata diária das fases de demonstração e de avaliação técnica”, que conterão informações sobre as ocorrências verificadas durante as respectivas fases.
- 8) Viabilizar durante as fases de instalação, configuração, parametrização e customização da solução, a infraestrutura de *hardware* e *software* requerida pelo fabricante.
- 9) Alocar equipe técnica para atendimento presencial das demandas de instalação e configuração dos equipamentos e sistemas, durante toda a execução da PoC.

- Recursos materiais

Através de revisão bibliográfica e consultas a especialistas, foram verificados testes e medições que devem ser realizados no LTE, para isto, foram escolhidas as seguintes ferramentas:

1) Aplicativo G-Net Track Pro, desenvolvido por GyokovSolutions

Alguns das funcionalidades oferecidas por este aplicativo, estão listadas abaixo, de acordo com o fornecedor, GYOKOVOLUTIONS (2019).

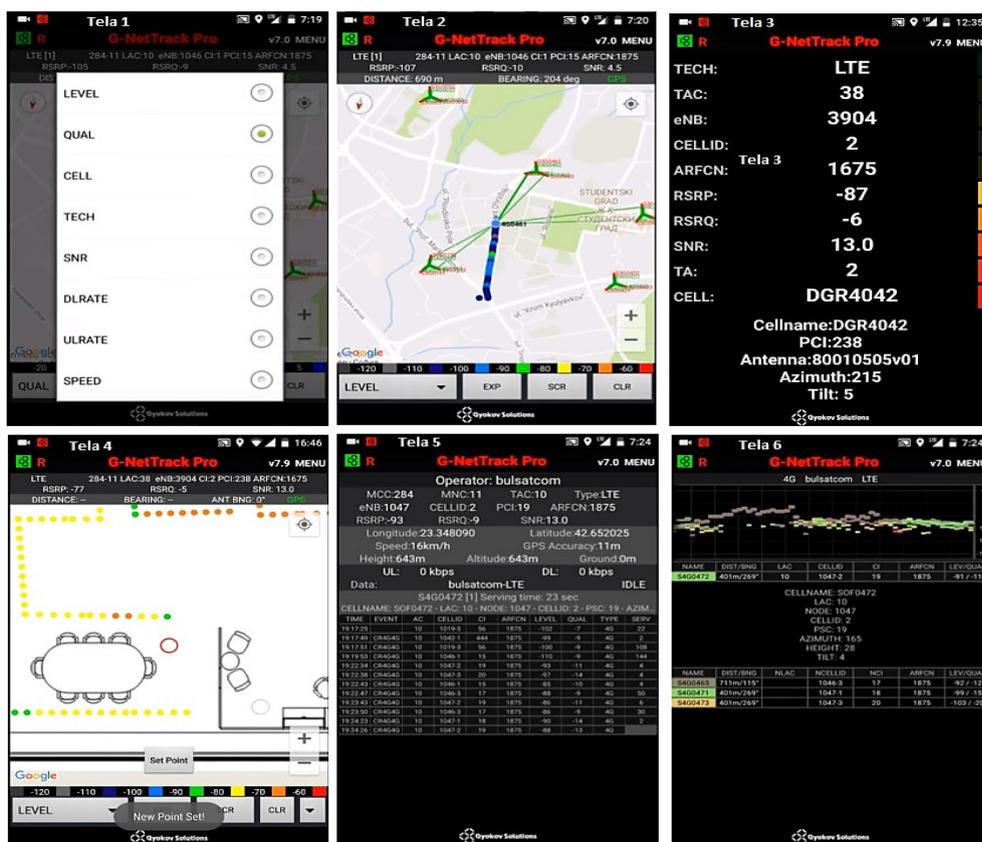
- Medição da estação servidora e células vizinhas para tecnologias 2G / 3G / 4G.
- Registro das medições em arquivos (texto e formato kml).
- Importação / exportação de arquivos de células, e visualização das estações servidora e vizinhas no mapa.
- Carregamento de rotas pré-definidas.
- Realização de sequência de teste de: voz; dados (*upload*, *download*, *ping*); mensagem de texto (SMS); e de testes mistos, para dados, voz e SMS.
- Controle de *bluetooth* de vários telefones.
- Visualização de gráficos com: níveis das células servidoras e vizinhos; medições de nível de sinal; qualidade de serviço; relação sinal ruído; taxa de dados para *downlink* e *uplink*; *LTE timing advance*; entre outros.
- Viabilidade de medições *indoor* através do carregamento da planta baixa do local no aplicativo.
- Suporta até 2 SIM CARDS realizando medições simultâneas.

Este aplicativo foi escolhido, após comparação com diversos outros que ofereciam recursos similares, devido à diversidade de aplicações; visualização através de mapas; gravação dos testes em arquivos, com possibilidade de exportação para processamento posterior; boa usabilidade; possibilidade de realização de testes com sequências de dados, com escolha do tamanho do pacote e tempo do teste.

Além de possibilidade de aplicação de sequência de *pings*; visualização da rota através dos parâmetros de nível de sinal, relação sinal ruído, qualidade e taxa de transferência de pacotes do *uplink* e *downlink*; possibilidade de realizar medições *indoor* através de *walk test*, com carregamento da planta baixa do local; além de medição dos indicadores necessários para os testes, sendo estes: célula servidora (eNB), com seu ARFCN, velocidades de *download* e *upload*, latência, perda de pacotes e *jitter*.

Na figura 31 são exibidas 6 telas do aplicativo, sendo a tela 4 referente ao *walk test*.

Figura 31 – Exemplos de telas do aplicativo G-net Track Pro.



Fonte: Elaboração própria, adaptado de GyokovSolutions (2019).

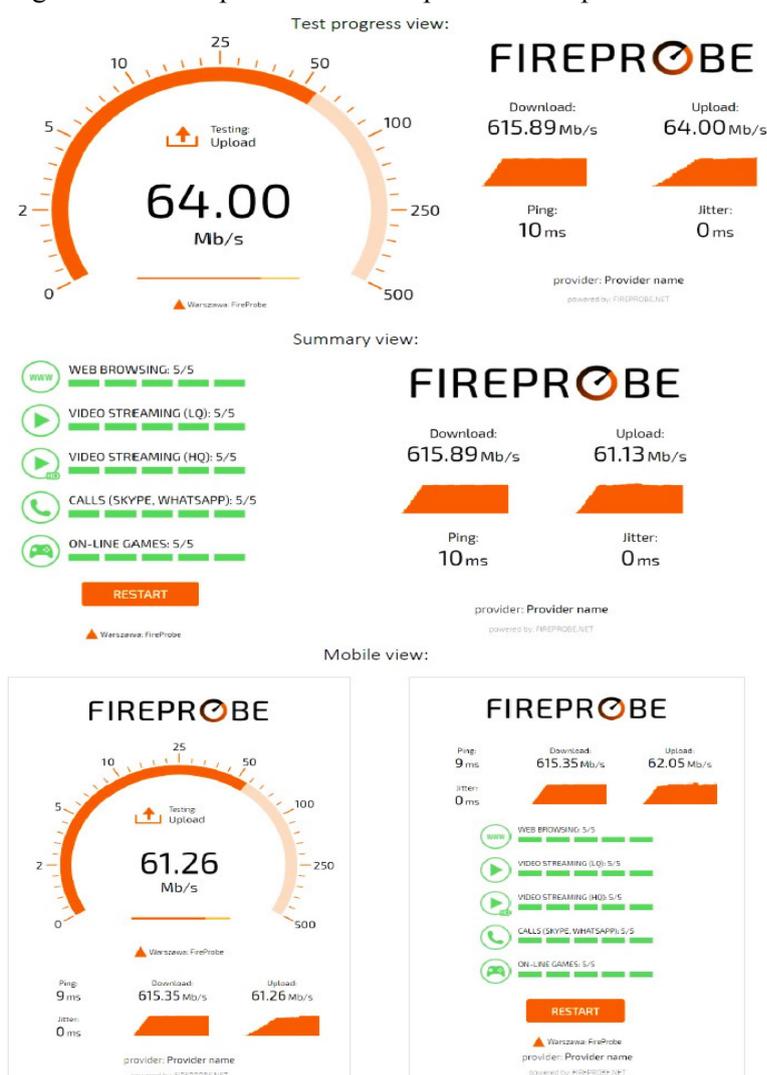
2) Aplicativo Fireprobe, operado por V-SPEED Sp. z o.o.

Algumas funcionalidades oferecidas por este aplicativo estão listadas abaixo, de acordo com o fornecedor, V-SPEED SP. Z.O.O. (2019).

- Sequência de teste de dados (*upload, download, ping*).
- Identificação de IP; servidor; taxas de download e upload; tempo do *ping, jitter*; qualidade de *video streaming*.
- Possibilidade de configuração da periodicidade dos testes; do número de testes agendados, incluindo ilimitado; do tamanho máximo do pacote de dados para teste, entre 100 MB, 250 MB, 500 MB, 1 GB e ilimitado; escolha do tipo de rede a ser testada, entre Wi-Fi, LTE, 3G/2G.
- Possibilidade de gravação dos resultados dos testes com exportação dos dados em formato .csv.
- Visualização em tempo real dos testes.

Na Figura 32 são exibidas 6 telas do aplicativo.

Figura 32 – Exemplos de telas do aplicativo Fireprobe.



Fonte: Elaboração própria, adaptado de V-speed SP. ZO.O. (2019).

Este aplicativo foi escolhido, após comparação com diversos outros que ofereciam recursos similares, devido às aplicações de gravação dos testes em arquivos, com possibilidade de exportação para processamento posterior; boa usabilidade; possibilidade de realização de seqüências de dados, com escolha do tamanho do pacote e tempo do teste; possibilidade de aplicação de seqüência de *pings*; além de medição de alguns indicadores necessários para os testes, sendo estes: velocidades de *download* e *upload*, e *jitter*.

3) Aplicativo IP Tools, operado por AmazingByte.

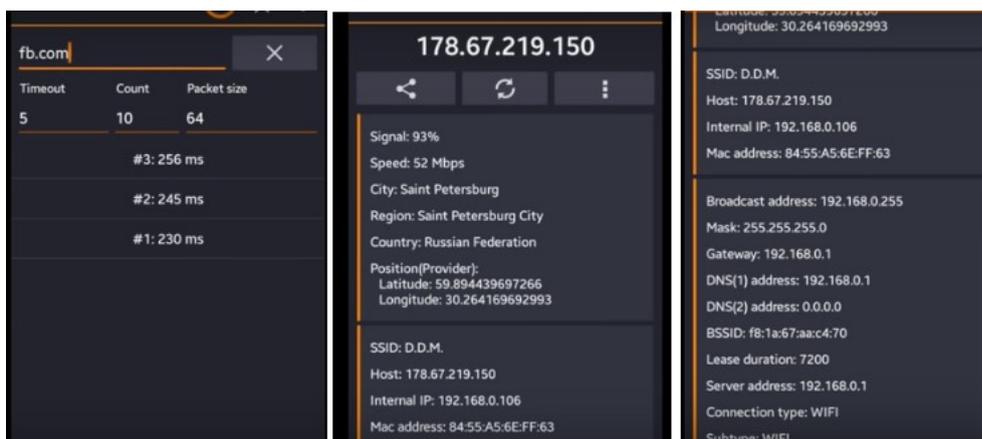
Alguns das funcionalidades deste aplicativo estão listadas abaixo, de acordo com a documentação disponibilizada pelo fornecedor, IP TOOLS D. D. M. (2019).

- Busca de IPs internos e externos; SSID; BSSID; endereço de transmissão; porta; máscara de rede; país, região; cidade; coordenadas geográficas do fornecedor.

- Visualização de nível de sinal; velocidade; cidade, estado, país e coordenadas geográficas do provedor de rede; SSID; host; endereço IP interno; endereço físico (*Mac Adress*); endereço de broadcast; máscara de rede; gateway; DNS primário e secundário; *localhost*; endereço do servidor; tipo de conexão.
- Possibilidade de digitar o nome do *host* ou IP de destino, com a quantidade de pacotes enviados, tamanho do pacote e tempo limite para o envio.
- Possibilidade compartilhar as informações obtidas.

Este aplicativo foi escolhido, após comparação com diversos outros que ofereciam recursos similares, devido às informações fornecidas, possibilidade de digitar IP de destino com tamanho do pacote e quantidades de pacotes, identificação da rede e possibilidade de compartilhar os dados obtidos. Na Figura 33 são exibidas algumas telas do aplicativo.

Figura 33 – Exemplos de telas do aplicativo IP Tools.



Fonte: Elaboração própria, adaptado de Iptools M.D.D. (2019).

- 4) Rádios LMR, dependendo da rede que será testada a integração, podendo ser TETRA, APCO 25 ou TETRAPOL.

No rádio, dependendo da configuração, também é possível visualizar algumas informações, como, grupo de comunicação, identificação do aparelho, nível de sinal, taxa de erro, ERB servidora (identificada na Figura 34 como repetidor), entre outros, conforme telas abaixo, exibidas na Figura 34.

Figura 34 – Telas TPH 700.

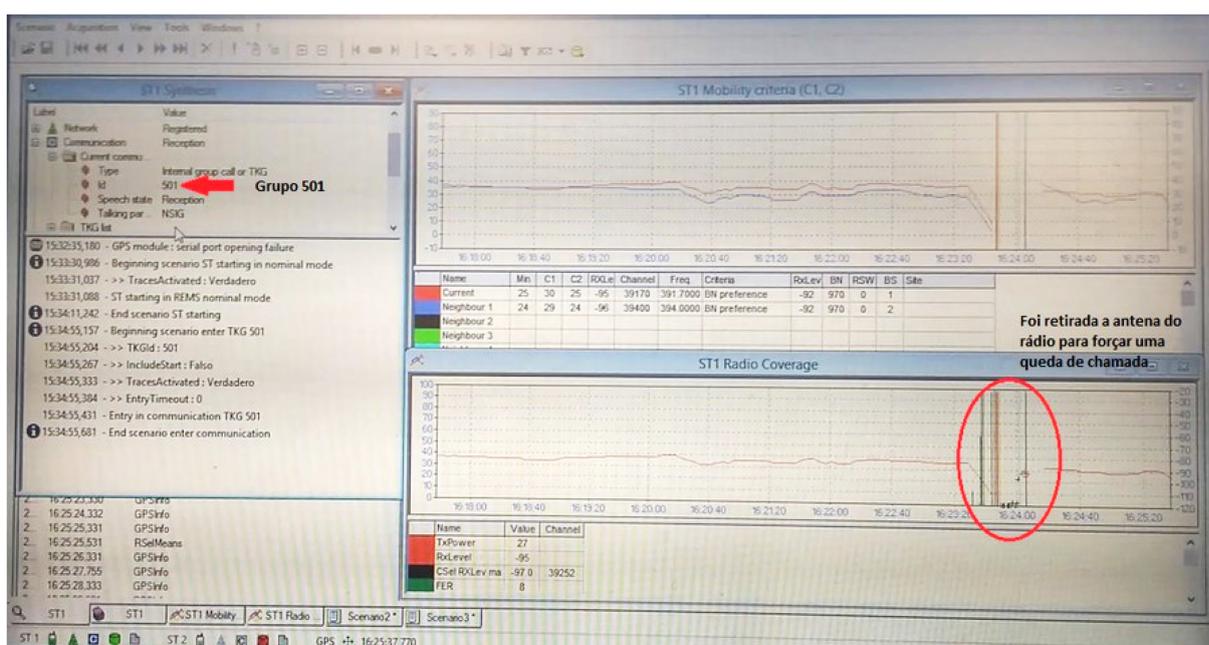


Fonte: Elaboração própria.

5) *Software de drive test.*

Neste estudo foi verificada a funcionalidade do *software* REMS. Para utilização do REMS, deve-se conectar um rádio LMR, neste caso foi conectado rádio TETRAPOL, modelo TPH 900, além de GPS para coleta de geolocalização. Os dados gerados são gravados em um *log* de eventos que pode ser exportado posteriormente em mapa, para visualização de dados como: nível de sinal na região; taxa de erros; qualidade da chamada; quedas de chamadas durante o teste; estação servidora; nível de sinal das estações vizinhas; rede utilizada; coordenadas; etc. Abaixo pode-se visualizar uma tela onde a autora forçou uma desconexão do móvel por baixo nível de sinal, através da retirada manual da antena do rádio.

Figura 35 – Tela do REMS.



Fonte: Elaboração própria.

- 6) *Smartphones*, de preferência mais de um aparelho e de fabricantes distintos.
- 7) CMW500, *Wideband Radio Communication Tester*, fabricado pela Rohde&Schwarz.

Alguns das funcionalidades oferecidas por este equipamento, estão listadas abaixo, de acordo com o fornecedor, em ROHDE SCHWARZ (2019b) Roessler (2014).

Os UEs de uma rede LTE comercial transmitem no máximo 23dBm, já para uma rede LTE em CC, no *release* 11 já era possível a utilização do HPUE, ou seja, os UEs podem transmitir até 31dBm, portanto, o equipamento de medição deve ser capaz de mensurar o HPUE. Segundo o fabricante, este equipamento pode medir:

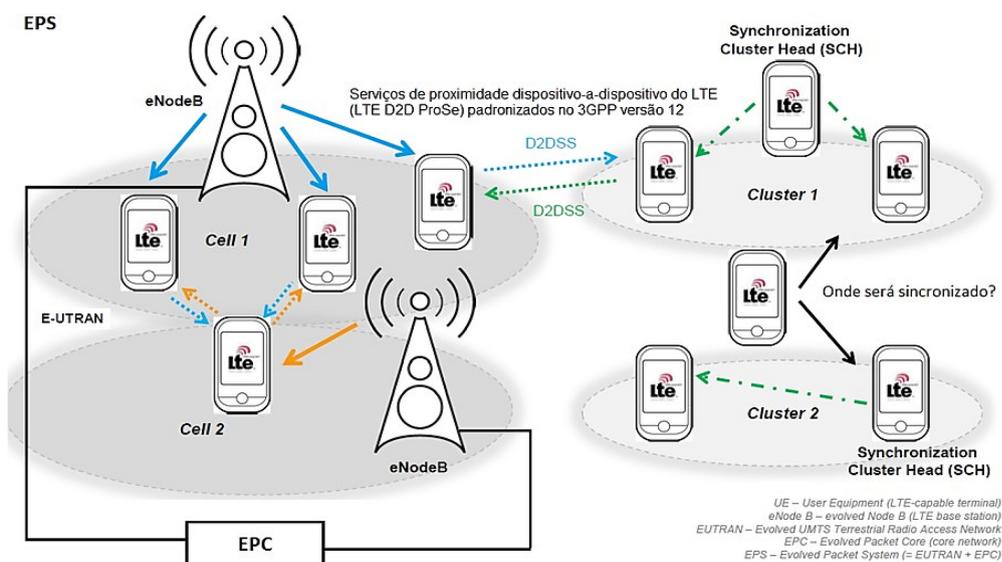
- Potência máxima de saída para HPUE; *Maximum Power Reduction* (MPR) para HPUE; *Additional Maximum Power Reduction* (A-MPR) para HPUE; potência de saída configurada e transmitida do UE para HPUE.
- Tolerância de controle de potências: absoluta para HPUE; relativa para HPUE; agregada para HPUE.
- Perda de potência no canal adjacente para HPUE; descoberta direta.

A medição da descoberta direta é como um dispositivo envia (anuncia) e recebe (monitora) a mensagem de descoberta na frequência de *uplink* usando conjuntos de recurso definidos. Uma vez que o R&S@CMW500 emula a rede LTE e o dispositivo receptor simultaneamente, o envio correto da mensagem de descoberta também pode ser verificado.

A descoberta direta é parte dos serviços de proximidade dispositivo-a-dispositivo do LTE (LTE D2D ProSe) padronizados no 3GPP versão 12, que permite que um dispositivo descubra o que está em sua proximidade, sem que haja muito consumo de energia. Fontes de sincronização diferentes são possíveis dependendo do cenário, conforme ilustrado na Figura 36, a rede pode alternar entre um caminho de comunicação EPC e ProSE.

O caminho através da EPC e o caminho de comunicação do ProSE também podem estar ativos ao mesmo tempo. Para CC, a comunicação do ProSE pode iniciar sem a descoberta se os UEs estão no intervalo de comunicações permitidas, pois, é necessária a autorização do operador para que o UE se comunique, além disto, o UE precisa ser capaz de participar e transmitir comunicações para um grupo, independente de possuir ou não cobertura da rede (ROHDE SCHWARZ, 2019b; ROESSLER, 2014).

Figura 36 – Fontes de sincronização distintas para diferentes cenários.



Fonte: Elaboração própria, adaptado de Roessler (2014).

Algumas funcionalidades fornecidas pelo equipamento para o LTE-A são descritas a seguir, de acordo com informações do fabricante (ROHDE SCHWARZ, 2019a):

- Gerador de Rádio Frequência (RF); analisador de RF; emulador de rede; teste de protocolo; aplicação de testes *end-to-end*; suporte para desvanecimento do sinal.

Na Figura 37, pode-se visualizar o equipamento. Este medidor é recomendado, devido as diversas medições possíveis, além de simular uma rede LTE-A e viabilizar testes de UEs.

Figura 37 – Tela do CMW500 *Wideband Radio Communication*.



Fonte: Extraído de Rohde & Schwarz (2019).

Documentação de avaliação

Para produção dos documentos necessários, além dos citados nas seções anteriores, foram verificados se existiam documentos referentes a licitações no Brasil que já disponibilizassem algum roteiro, no âmbito de provas de conceito para aceitação da aquisição.

Das documentações encontradas, este trabalho utilizou como referência o pregão n.º 93/2013, realizado pelo Tribunal de Contas da União (TCU), por atender a legislação brasileira

e ainda oferecer subsídios significativos para esta pesquisa. Desta forma, os itens elencados abaixo, foram adaptados do documento Brasil, Tribunal de contas da união (2013).

1) Ata da fase de instalação, configuração, parametrização e customização.

Nesta ata deverão ser consignadas as ocorrências relevantes do período de instalação, configuração, parametrização e customização. A ata da fase de instalação, configuração, parametrização e customização subsidiará a elaboração do relatório de conclusão, e o integrará.

2) Ata diária das fases de demonstração e de avaliação técnica.

Na ata diária das fases de demonstração e de avaliação técnica deverão ser registrados quais casos de testes foram submetidos à avaliação no decorrer do dia, relatando as ocorrências e as inconsistências observadas. As atas diárias das fases de demonstração e de avaliação técnica subsidiarão a elaboração do relatório de conclusão, e o integrarão.

3) Relatório de conclusão da avaliação técnica.

Será integrado pelos casos de testes e pelas atas (da fase de instalação, configuração, parametrização e customização e também das fases de demonstração e de avaliação técnica), sendo subsídio da equipe, para a emissão do termo de aceite ou recusa da solução.

4) Emissão do termo de aceitação ou recusa da solução por parte do órgão.

Cenários de uso

De acordo as entrevistas, diversas são a situações de aplicação da CC, neste trabalho, foram elencados 4 cenários, como sugestão para realização dos testes, lista apenas exemplificativa. São estes: *indoor* com alta densidade urbana; *indoor* em pontos notáveis para atividade policial, como, por exemplo, aeroportos; *outdoor* com alta densidade de vegetação; e *outdoor* em regiões densamente urbanas.

APÊNDICE E - TERMO DE PARTICIPAÇÃO EM PESQUISA ACADÊMICA**Autorização de participação em pesquisa acadêmica**

Eu, _____, CPF _____, aceito participar da pesquisa realizada por Débora Vanessa Campos Freire, mestranda do Programa de Pós-graduação em Ciência da Informação da UFSC, que tem por objetivo levantamento de dados qualitativos para análise científica.

Autorizo a utilização das respostas dadas em entrevista e questionários para o desenvolvimento da pesquisa, sem a identificação de meus dados pessoais em posteriores publicações.

_____, ____ de _____ de _____.

Assinatura