

Sistema de Controlo e Gestão de Comunicações Radio Over IP (RoIP)

Pedro Miguel Martins Leitão da Costa

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Orientadores: Professor Doutor João Nuno de Oliveira e Silva
Major de Transmissões Pedro Miguel Martins Grifo

Júri

Presidente: Professora Doutora Teresa Maria Sá Ferreira Vazão Vasques

Orientador: Professor Doutor João Nuno de Oliveira e Silva

Vogais: Professor Doutor Paulo Rogério Barreiros D'Almeida Pereira
Major de Transmissões Luís Filipe Xavier Cavaco de Mendonça Dias

Dezembro de 2019

Declaro que o presente documento é um trabalho original da minha autoria e que cumpre todos os requisitos do Código de Conduta e Boas Práticas da Universidade de Lisboa.

Agradecimentos

As minhas primeiras palavras de agradecimento vão para a minha família, por sempre me apoiarem durante este percurso. Por todos os valores e princípios que me transmitiram, contribuindo para o meu crescimento como pessoa.

Ao Professor Doutor João Silva, pela sua disponibilidade em inúmeras situações, pela forma entusiasta e paciente como foi dando as suas ideias, fazendo necessárias correções e partilhado a sua experiência, proveniente do seu vasto conhecimento na área de Computadores e serviços *Web*. A sua constante ajuda e motivação, durante todo este percurso, tendo a capacidade de orientar-me de forma a que conseguisse melhorar as minhas capacidades e atingisse os objetivos propostos, foram fundamentais.

Ao Major de Transmissões Pedro Grifo pela partilha generosa do seu conhecimento no que toca a questões mais técnicas do presente trabalho, fruto da sua experiência profissional, sem esquecer o facto de me ter facultado dados de relevo para a realização deste projeto.

Ao Major de Transmissões Tiago Guedes por me ter integrado na equipa do SIC-T, e ter estado sempre disponível caso me surgisse alguma questão relacionada com a temática.

Aos Tenentes de Transmissões Rui Gomes, Gonçalo Atanásio e Kevin Lourenço, por todo o seu tempo dispensado para me apoiarem no desenvolvimento do sistema.

Por último, mas não menos importante, aos camaradas do curso Tenente General Bernardim Freire de Andrade, pelo apoio constante nos últimos anos, permitindo-nos, graças ao espírito de camaradagem, ultrapassar os obstáculos que foram aparecendo ao longo do curso.

Resumo

Atualmente, o Exército Português dispõe do emissor-recetor militar Rádio Multifuncional GRC-525 que equipa a generalidade dos elementos da componente operacional do sistema de forças. Este equipamento permite dotar as forças terrestres com a capacidade de estabelecer comunicações seguras. A atual versão do Rádio Multifuncional GRC - 525 permite a sua integração de forma transparente com redes de dados IP e, especificamente, com sistemas telefónicos IP através do protocolo SIP.

O Rádio Multifuncional GRC - 525 permite a bidirecionalidade de chamadas, contudo a confidencialidade entre os membros da rede e a simultaneidade das comunicações não estão asseguradas, pois, como a comunicação é estabelecida em meio de radiofrequência partilhado e numa determinada rede rádio, a cada momento, somente um utilizador pode transmitir a sua mensagem ficando os restantes em receção (sistema *half-duplex*).

Para colmatar estas limitações, procedeu-se ao desenvolvimento de um Sistema de Controlo e Gestão de Comunicações do Rádio Multifuncional GRC - 525, que possibilita aos utilizadores de um posto de comando estabelecerem uma chamada com qualquer entidade com quem estejam a desenvolver a sua atividade operacional e dotada com o Rádio Multifuncional GRC - 525, independentemente da rede rádio em que esta se encontre, garantindo a confidencialidade e a simultaneidade das comunicações.

O presente sistema dispõe de outras funcionalidades, entre estas destacam-se a gravação de todas as chamadas para depois da operação ser efetuado o *backbriefing*, assim como a criação de um histórico com todos os eventos resultantes das ações realizadas pelas entidades que o utilizam.

Palavras-chave: Exército Português; Rádio Multifuncional GRC – 525; *Radio Over IP*; Sistema de Controlo e Gestão.

Abstract

Currently, the Portuguese Army has the military transceiver Radio Multifunctional GRC-525 which equips the tactical units within the operational component of the ground forces system. This equipment provides to the ground forces the ability to establish secure communications. The current version of the Radio Multifunctional GRC - 525 provides a transparent integration with IP data networks and, specifically with IP telephone systems through the SIP protocol.

The Radio Multifunctional GRC - 525 allows bidirectional radio calls, however the confidentiality between the members of the network and simultaneity of communications are not assured, this happens because the communication is established over a shared radio frequency and on a given radio network at a time, only one user can transmit a message while the others are only in reception mode (half-duplex system).

To solve these limitations, was developed Radio Multifunctional GRC - 525 Communications Control and Management System, which allows users within command posts to establish a call with any entity that is carrying out its operational activity operating with the Radio Multifunctional GRC - 525, regardless of the radio network it is in, ensuring the confidentiality and the simultaneity of communications.

The present system has other features, among which are the recording of all calls to allow backbriefing, as well as the creation of a history with all events resulting from actions performed by the entities that use it.

Keywords: Portuguese Army; Radio Multifunctional GRC - 525; Radio Over IP; Control and Management System.

Índice

<u>AGRADECIMENTOS</u>	V
<u>RESUMO</u>	VII
<u>ABSTRACT</u>	IX
<u>LISTA DE FIGURAS</u>	XIII
<u>LISTA DE SIGLAS E ACRÓNIMOS</u>	XV
<u>1. INTRODUÇÃO</u>	1
1.1. MOTIVAÇÃO	1
1.2. PROBLEMÁTICA – SITUAÇÃO ATUAL	2
1.3. OBJETIVOS	3
1.4. PROPOSTA DE SOLUÇÃO	4
1.5. ESTRUTURA DO DOCUMENTO	5
<u>2. TRABALHO RELACIONADO</u>	7
2.1. COMUNICAÇÕES TÁTICAS	7
2.1.1 SIC-T	7
2.1.2 EQUIPAMENTO TÁTICO	11
2.1.3 ESTABELECIMENTO DE CHAMADAS ENTRE A REDE TÁTICA E A REDE RÁDIO	14
2.2. VoIP	16
2.2.1. SIP	17
2.2.2. ASTERISK	18
2.3. VoIP NO RÁDIO MULTIFUNCIONAL GRC-525	19
2.3.1. IMPLEMENTAÇÃO DO PTT SOBRE IP NO SIC-T	20
2.3.2. VOI525	21
<u>3. SISTEMA DE CONTROLO E GESTÃO</u>	23
3.1. REQUISITOS	23
3.1.1. REQUISITOS DE SEGURANÇA	23
3.1.2. REQUISITOS FUNCIONAIS	24
3.1.3. REQUISITOS DE INTEROPERABILIDADE	25
3.2. CASOS DE USO	25
3.2.1. ADMINISTRADORES	26
3.2.2. OPERADORES	26
3.3. ARQUITETURA	26
3.4. MODELO DE DADOS	29

3.5. TECNOLOGIAS DE IMPLEMENTAÇÃO	30
3.5.1. TECNOLOGIA DO LADO DO SERVIDOR (<i>BACK-END</i>)	30
3.5.2. TECNOLOGIA DO LADO DO CLIENTE (<i>FRONT-END</i>)	33
3.6. FLUXOS DE EXECUÇÃO	35
3.6.1. SELEÇÃO DO DESTINATÁRIO FINAL DA CHAMADA	38
3.6.2. VERIFICAÇÃO DO ESTADO DE OCUPAÇÃO DOS RÁDIOS GATEWAY	38
3.6.3. ENVIO E LEITURA DE SDM's	38
3.6.4. ESTABELECIMENTO DE CANAIS DE COMUNICAÇÃO	39
4. AVALIAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	41
4.1. SEGURANÇA	41
4.2. FUNCIONALIDADES	43
4.3. INTEROPERABILIDADE	45
4.4. TESTES DE CAMPO	46
4.5. COMPARAÇÃO ENTRE O SISTEMA ATUAL E O SISTEMA DESENVOLVIDO	49
4.6. VALIDAÇÃO E APRESENTAÇÃO DO SISTEMA	52
4.7. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	57
5. CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS	59
REFERÊNCIAS	61
ANEXO A	65

Lista de Figuras

Figura 1.1 - Integração da rede rádio com a rede IP	2
Figura 1.2 - Implementação do Sistema desenvolvido na arquitetura atual	4
Figura 2.1 - Arquitetura do SIC-T	8
Figura 2.2 - Organização dos subsistemas do SIC-T [3]	9
Figura 2.3 - Exemplo de possíveis equipamentos instalados no PAR	11
Figura 2.4 - Rádio Multifuncional GRC – 525 [7]	12
Figura 2.5 - ICC – 201 [9]	13
Figura 2.6 - Vocality Basics Radio Relay [11]	14
Figura 2.7 - Esquema do estabelecimento da chamada entre posto de comando e utilizador rádio ...	15
Figura 2.8 - Esquema do Protocolo SIP [13].....	17
Figura 2.9 - Estabelecimento de uma sessão SIP [13].....	18
Figura 2.10 - Funcionalidades da plataforma Asterisk [15].....	19
Figura 2.11 - Interligação entre a rede VoIP e a rede Rádio	20
Figura 2.12 - Implementação do protocolo de PTT nos telefones fixos [21].....	21
Figura 2.13 - Implementação do Sistema VOI525 [21]	21
Figura 3.1 - Introdução do Sistema de Controlo e Gestão na Arquitetura do SIC -T	27
Figura 3.2 - Arquitetura do Sistema de Controlo e Gestão	28
Figura 3.3 - Modelo de Dados do Sistema de Controlo e Gestão	29
Figura 3.4 - Interligação entre as três interfaces do Asterisk [31].....	32
Figura 3.5 - Ligação através de Sockets TCP entre o servidor e o Rádio Multifuncional GRC – 525..	33
Figura 3.6 - Estrutura de um documento HTML [38].....	34
Figura 3.7 – Ciclo de vida de uma aplicação AJAX [42]	35
Figura 3.8 - Estabelecimento de uma chamada entre um utilizador do posto de comando e uma rede rádio	36
Figura 3.9 - Estabelecimento de uma chamada entre um utilizador do posto de comando e um operador rádio	37
Figura 4.1 - Mecanismo de autenticação da aplicação	42
Figura 4.2 - Captura de ecrã na aplicação quando um utilizador tenta aceder a interfaces a que não tem acesso	42
Figura 4.3 - Utilizador no posto de comando a realizar uma chamada por telefone através da aplicação.....	43
Figura 4.4 - Acesso à lista de redes rádios disponíveis através da aplicação.....	44
Figura 4.5 - Acesso à lista de participantes de uma rede rádio através da aplicação.....	45
Figura 4.6 - Posto de comando do BFM3	47
Figura 4.7 - Ponto de Acesso Rádio (PAR) presente no BFM3	48
Figura 4.8 - Operador Rádio no teatro de operações do BFM3.....	48
Figura 4.9 – Apresentação dos intervenientes dos casos de estudo, mais concretamente o estabelecimento de uma chamada privada através dos dois Sistemas de Comunicações	50

Figura 4.10 – Comparação do tempo de estabelecimento de uma chamada privada através do Sistema atual e do Sistema desenvolvido.....	51
Figura 4.11 -Gráfico com a resposta dos inquiridos relativa à facilidade e agilidade da utilização do processo de comunicações atual	53
Figura 4.12 - Gráfico com a resposta dos inquiridos relativa ao contributo do Sistema para o Exército Português	54
Figura 4.13 - Gráfico com a resposta dos Inquiridos relativa à facilidade de utilização do Sistema	55
Figura 4.14 - Gráfico com a avaliação das funcionalidades do Sistema	56
Figura 4.15 - Gráfico com a avaliação das funcionalidades do Sistema (continuação)	56

Lista de Siglas e Acrónimos

AGI – *Asterisk Gateway Interface*
AJAX - *Asynchronous JavaScript and XML*
AM – Academia Militar
AMI – *Asterisk Manager Interface*
AOp – Área de Operações
API – *Application Programming Interface*
ARI – *Asterisk Rest Interface*
BFM – Bloco de Formação Militar
C2 – Comando e controlo
CDR – *Call Details Records*
COMSEC – Comunicação Segura
CSS - *Cascading Style Sheets*
DOM - *Document Object Model*
HF – *High Frequency*
HTML – *Hypertext Markup Language*
HTTP – *Hypertext Transfer Protocol*
ICC - *Integrated Communications Centre*
IP – *Internet Protocol*
IPoA – *IP over Air*
IVR - *Interactive Voice Response*
JS - *JavaScript*
ITU – *International Telecommunication Union*
LAN – *Local Area Network*
LDAP - *Lightweight Directory Access Protocol*
NA – Nó de Acesso
NT – Nó de Trânsito
OFDM - *Orthogonal Frequency Division Multiplex*
OSI – *Open System Interconnection*
PAR – Ponto de Acesso Rádio
PBX – *Private Branch Exchange*
PC – Posto de Comando
PP – Preset Page
PTT – *Push to talk*
RL – *Rear Link*
RoIP – *Radio over IP*
RTP – *Real-Time Transport Protocol*
SAE – Subsistema de Área Estendida
SAL – Subsistema de Área Local
SDP - *Session Description Protocol*

SDM – *Short Data Message*

SIC – Sistema de Informação e Comunicação

SICCE – Sistema de Informação para comando e Controlo do Exército

SIC-T - Sistema de Informação e Comunicações Tático

SIP – *Session Initiation Protocol*

SITACO – Sistema tático de comunicação

SGR – Subsistema de Gestão de Rede

SQL – *Structured Query Language*

SSR – Subsistema de Segurança de Rede

SUM – Subsistema de Utilizadores Móveis

TCP – *Transmission Control Protocol*

TO – Teatro de Operações

TRANSEC – Transmissão segura

UDP – *User Datagram Protocol*

UHF – *Ultra High Frequency*

UML – *Unified Modeling Language*

URL - *Uniform Resource Locator*

VHF – *Very High Frequency*

VoIP – *Voice over IP*

W3C - *World Wide Web Consortium*

1. Introdução

1.1. Motivação

Desde o início da existência da humanidade que o ser humano tem a necessidade comunicar entre si. Neste sentido, foram sendo desenvolvidas técnicas de comunicação, começando pela criação de gestos, sons e sinais nos tempos remotos dos nossos ancestrais primitivos até à criação de redes de telecomunicações nos dias de hoje, que permitem que as pessoas possam comunicar entre si em qualquer parte do mundo.

No que respeita às redes de telecomunicações militares, estas são de relevante importância na nossa sociedade. E destacam-se pelo facto de poderem operar independentemente das redes de comunicações civis, podendo ser utilizadas no apoio à população em caso de catástrofes ou de crises, bem como para apoio no comando e controlo das nossas forças militares quando se encontram a operar em Teatros de Operações (TO) para o cumprimento da sua missão [1].

No moderno campo de batalha, a informação é a arma mais valiosa e decisiva. Como tal, as Forças Armadas tiveram a necessidade de se adaptar e dispor de meios que pudessem garantir a segurança das comunicações entre as suas forças, assegurar a interoperabilidade de diferentes sistemas de comunicações e possibilitar a rápida transmissão da informação. Atualmente, o fator tempo é crucial no desenrolar das operações militares, sendo por isso determinante para assegurar a célere tomada de decisão pelos comandantes, em cada um dos escalões de comando [2]. Para a criação de redes militares robustas e o seu emprego em cenários de campanha, cumprindo com os requisitos anteriormente mencionados, o Exército português concebeu o Sistema de Informação e Comunicações - Tático (SIC-T), sistema este que garante às forças militares de nível tático o acesso a serviços de comunicações, sistemas de informação e ferramentas colaborativas, de forma a assegurar a superioridade da informação e facilitar aos Comandantes o desempenho das funções de comando e controlo das suas forças [3].

Quando uma força militar é projetada para determinado TO, seja este em território nacional ou internacional, é constituído pelo menos um Posto de Comando (PC), onde se encontra a estrutura de Comando com o Comandante dessa força, o seu Estado-Maior bem como a infraestrutura de comunicações e sistemas de informação necessária para o apoio à decisão, neste caso assente no SIC-T, bem como o pessoal especializado para instalar e manter esse Sistema.

Como elo de ligação entre as forças inseridas no posto de comando e as forças empenhadas no Teatro de Operações, consta na orgânica do SIC-T o módulo Ponto de Acesso Rádio (PAR), responsável por efetuar a integração entre a rede IP e a rede rádio, correspondente à rede utilizada pelos operadores rádios no Teatro de Operações.

No campo de batalha, é essencial assegurar às nossas forças militares a capacidade de garantir a eficácia do comando e do controlo nos diversos escalões de comando. Tendo em consideração o facto de haver mobilidade dos utilizadores na área de operações, é necessário garantir a eficiente integração entre as redes rádio de combate, redes estas que se caracterizam por serem heterogéneas, móveis, com débitos binários baixos nas bandas de operação, e por conseguinte, com

latências muito elevadas, gerando perdas de dados e atrasos nas comunicações. No SIC-T, para efetuar a interface entre o “mundo” rádio e a rede de dados IP tática, o sistema dispõe, para esse efeito, de módulos de comunicações designados de Pontos de Acesso Rádio [3]. A integração da rede IP com a rede rádio pode ser visualizada no esquema presente na figura 1.1.

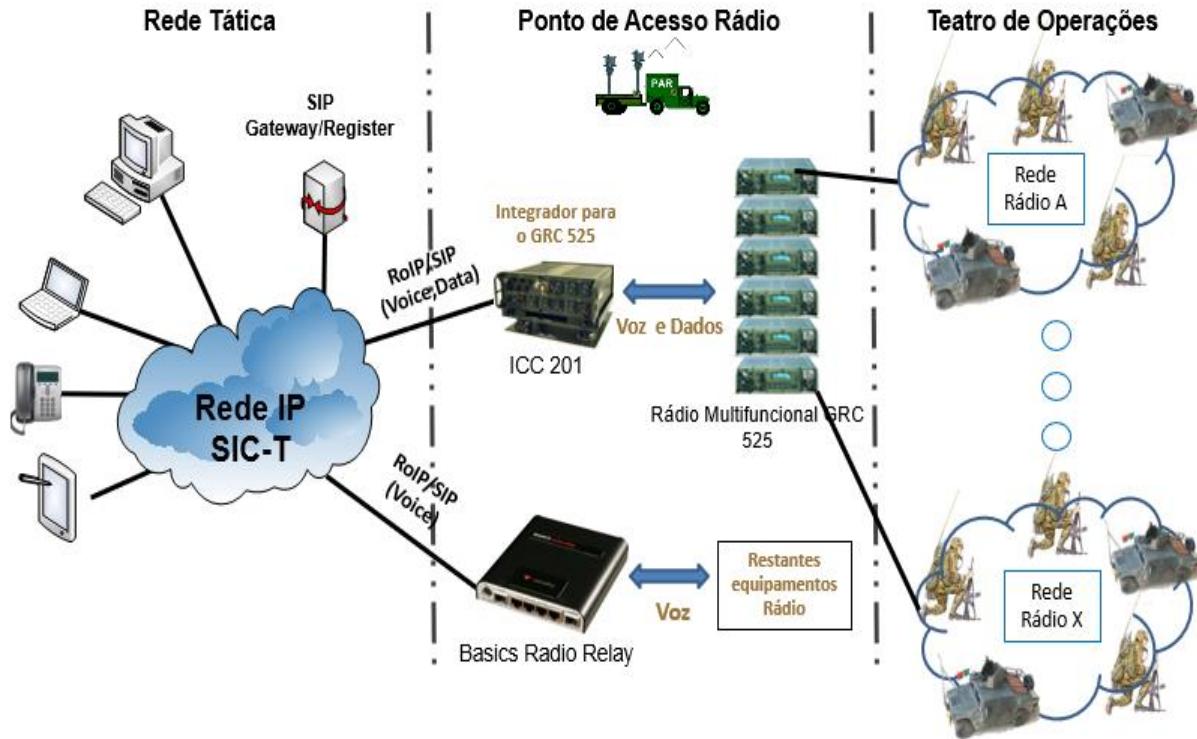


Figura 1.1 - Integração da rede rádio com a rede IP

O PAR apresenta-se como uma viatura tática militar, que transporta uma cabina de comunicações (*communications shelter*), equipada com meios de comunicações, sistemas de apoio de energia autónomos, nomeadamente através de gerador eletrogéneo, bem como a possibilidade de interligação à rede elétrica externa ou infraestruturada. Tendo em consideração o facto de o PAR ter uma função de destaque para o desenvolvimento desta dissertação, este módulo de comunicações do SIC-T vai ser abordado com maior detalhe posteriormente.

1.2. Problemática – Situação atual

Apesar do módulo de comunicações PAR permitir a integração com os rádios multifuncionais GRC – 525 com a fonia baseada em protocolos IP (estabelecimento de chamada entre o posto de comando e um operador rádio específico equipado com o Rádio Multifuncional GRC – 525), conta com algumas limitações, nomeadamente:

Limite do número de comunicações

O PAR permite até seis comunicações simultâneas em redes distintas, sendo estas comunicações efetuadas *half-duplex* e do tipo *push-to-talk* (PTT). Contudo, numa situação em que todos os canais estejam ocupados, não existe um sistema para gestão e priorização de chamadas. Num cenário em que um elemento num dado PC queira comunicar com alguém nos escalões inferiores e esta comunicação tenha maior precedência em relação às comunicações já em curso, não existe

nenhum gestor de chamada que termine uma das chamadas com grau de precedência inferior e permita o estabelecimento da nova comunicação com maior precedência.

Limitações associadas à falta de confidencialidade

Ao nível dos utilizadores móveis, sendo eles elementos que se encontram a operar a partir de viaturas táticas ou apeados, equipados com o Rádio Multifuncional GRC-525, podendo estabelecer a comunicação com os escalões superiores através de uma rede rádio designada ou definida previamente, verifica-se não ser possível garantir a confidencialidade da comunicação entre os seus intervenientes na comunicação, pois todos os outros elementos pertencentes a essa rede rádio conseguem escutar a comunicação. Neste caso, deveria haver um mecanismo que efetuasse a sinalização da comunicação, informando o originador da chamada sobre qual o canal a utilizar nessa comunicação específica.

As soluções anteriores para o funcionamento do PAR previam que os utilizadores móveis dotados de um Rádio Multifuncional GRC-525 tivessem acoplado ao rádio um terminal de dados para receber a informação de sinalização com os procedimentos a adotar para receber ou efetuar a comunicação de fonia [4].

Seletividade das chamadas

Relativamente à chamada, quando, por exemplo, um utilizador presente no PC origina uma chamada para estabelecer contacto com determinada entidade de uma rede rádio de combate, a chamada não é seletiva e é estabelecida em *broadcast*, podendo todos os participantes ouvir a comunicação, o que significa que a sua confidencialidade não é garantida.

Falta de Informação relativa ao estado dos rádios

Verifica-se a inexistência da capacidade para informar os originadores da chamada acerca da ocupação do sistema (ocupado, canal livre).

Inexistência de um Registo de Atividade

Neste momento, não está disponível o histórico das comunicações efetuadas, com o detalhe das mesmas, designadamente a duração, o emissor e o destinatário.

Complexidade no estabelecimento de chamadas

Para estabelecer uma chamada entre a rede tática e a rede rádio, os utilizadores presentes no PC, necessitam de consultar o manual onde se encontram indicadas as extensões de todas as redes e efetuar a marcação das mesmas no telefone que têm atribuído, este processo repete-se sempre que os utilizadores pretendam iniciar uma nova chamada.

1.3. Objetivos

Uma vez apresentadas as limitações atuais no subcapítulo anterior, com a presente Dissertação de Mestrado pretende-se desenvolver um Sistema de Controlo e Gestão de Comunicações *Radio Over IP* (RoIP) que permita, de uma forma dinâmica e eficiente, a monitorização, o controlo e a gestão de comunicações efetuadas entre as redes rádio e as redes IP, implementando o conceito RoIP.

Este sistema deverá também garantir a seletividade das chamadas entre o PC e uma determinada entidade no terreno, de modo a evitar a comunicação em *broadcast*, para não ocupar toda a rede rádio, possibilitando desta forma eficiência e confidencialidade à comunicação.

Pretende-se também dotar o Sistema de Controlo e Gestão de Comunicações *Radio Over IP* com a capacidade de criar um registo que contenha os detalhes da chamada.

1.4. Proposta de Solução

Relativamente à proposta de solução a desenvolver, pretende-se que esta cumpra com as exigências necessárias de forma a alcançar os objetivos definidos.

O Rádio Multifuncional GRC – 525 dispõe de uma funcionalidade de controlo remoto, quando integrado na rede IP, por meio da qual aplicações externas podem efetuar pedidos ao equipamento através de comandos, sem que, para tal seja necessária a presença de um operador. Entre estes pedidos destacam-se: obter o canal pré-configurado no rádio (*preset page* – PP), o envio de *Short Data Messages* (SDM's) e ainda a obtenção da lista de participantes numa rede.

Como foi mencionado anteriormente, o PAR permite até seis comunicações simultâneas em redes distintas, sendo que destas seis, quatro permitem fonia e dados, enquanto que as outras duas são utilizadas apenas para fonia. No PAR, todos os rádios vão estar ligados à rede de dados tática do SIC-T.

De acordo com as necessidades da missão, deverá haver, no mínimo um equipamento rádio dos seis existentes no PAR que fique destinado para o estabelecimento de comunicações ponto a ponto, ou seja, entre uma entidade de um PC e outra entidade no campo de batalha.

Para o PAR funcionar de forma coerente e mais eficiente necessita de um sistema que efetue a gestão e o controlo das comunicações entre a rede IP e as redes rádio, como uma arquitetura semelhante à apresentada na figura 1.2.

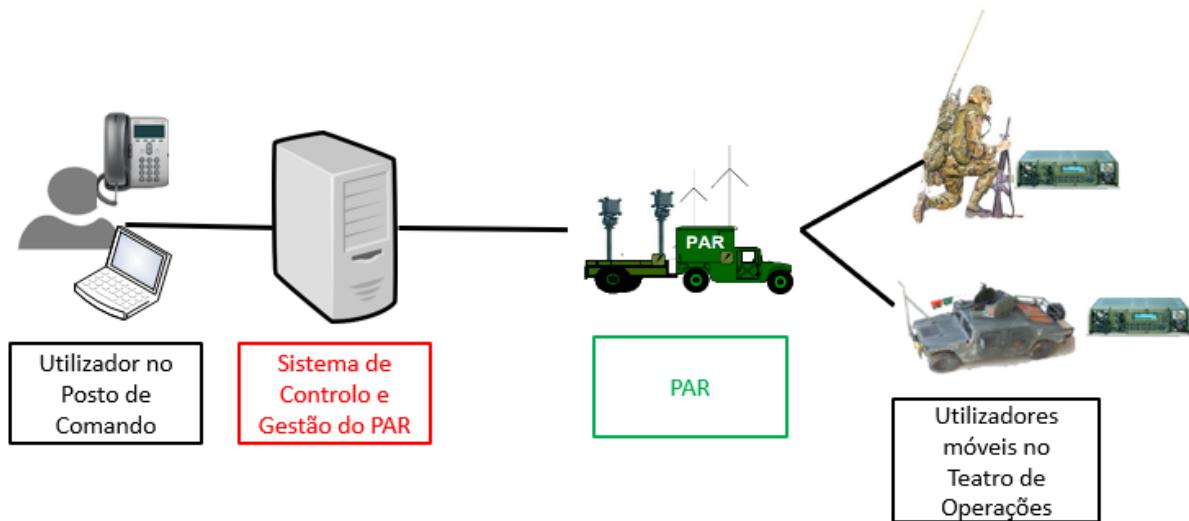


Figura 1.2 - Implementação do Sistema desenvolvido na arquitetura atual

Deste modo, quando uma entidade, num determinado PC, pretende comunicar com alguém em específico no campo de batalha, o sistema irá verificar qual o estado de ocupação dos rádios destinados a chamadas privadas, e caso estes se encontrem livres, o sistema deve enviar uma SDM, para o operador rádio que se encontra distante e dispõe unicamente de um equipamento rádio para comunicar.

A SDM enviada possui a informação necessária para o operador rádio estabelecer a comunicação com a entidade no posto de comando. O operador rádio remoto (*endpoint*), interpreta a mensagem recebida e tem a possibilidade de aceitar ou não a chamada. Caso pretenda aceitar, deve também ele enviar uma mensagem de confirmação para o rádio originador da SDM, designado como de rádio *gateway* da rede a que este pertence (rádio que se encontra no PAR, com acesso à rede IP). Após a chegada da mensagem de confirmação ao rádio *gateway* correspondente à sua rede rádio atual, o operador do rádio que se encontra remotamente (*endpoint*) comuta para a *preset page* indicada na SDM. A partir deste momento, o Sistema é responsável por estabelecer a chamada entre o equipamento rádio do PAR reservado para chamadas privadas, o rádio do operador remoto e o utilizador do PC.

O Sistema de Controlo e Gestão de Comunicações, deverá estar preparado para cumprir requisitos de segurança, garantido a encriptação das mensagens, e também requisitos de flexibilidade e de escalabilidade, de forma a que seja adaptável para qualquer tipo de missão.

1.5. Estrutura do Documento

O presente documento está organizado em cinco capítulos, que fornecem a compreensão do trabalho realizado, os quais vão abordar os seguintes tópicos:

O segundo capítulo oferece a base de compreensão das temáticas que vão ser tratadas nos capítulos seguintes. Inicialmente, é abordada a componente militar, em que o foco assenta nas comunicações militares, apresentando-se os sistemas de comunicações, os equipamentos e as tecnologias de que dispõe o Exército Português demonstrando as suas características e possíveis aplicações. Relativamente ao equipamento, destaca-se o Rádio Multifuncional GRC – 525, sendo este analisado detalhadamente no que toca às suas potencialidades, uma vez que é um elemento chave para o desenvolvimento desta dissertação. São enunciados também alguns softwares e protocolos que contribuíram para o desenvolvimento do Sistema de Controlo e Gestão.

No terceiro capítulo, é apresentado o Sistema de Controlo e Gestão, onde, primeiramente são referidos os requisitos que o sistema deverá cumprir. De seguida, são indicados os casos de uso e a arquitetura do sistema, sendo apresentados alguns esquemas para facilitar a compreensão da forma como está organizado o sistema, bem como a definição dos módulos que o constituem. São ainda abordadas as tecnologias essenciais implementadas para o desenvolvimento do sistema.

No quarto capítulo, são analisadas as várias características das aplicações pertencentes ao sistema em conformidade com os requisitos impostos no capítulo anterior. Como forma de validação do sistema, foram efetuados testes de campo em ambiente militar e inquéritos a entidades especialistas na área em que se insere a temática da presente Dissertação de Mestrado. São ainda averiguados os resultados da avaliação deste sistema e as vantagens decorrentes do seu uso.

No quinto capítulo, são apresentadas as conclusões obtidas, sob a forma de retrospeção de todo o trabalho desenvolvido, salientando a importância da elaboração de trabalhos futuros que enriqueçam e permitam continuar o presente trabalho desenvolvido.

2. Trabalho Relacionado

Para uma melhor compreensão das temáticas abordadas na presente dissertação é essencial efetuar a apresentação e explicação dos conceitos utilizados. Assim, serão seguidamente apresentados os conceitos, a terminologia utilizada bem como sua importância no contexto desta dissertação.

2.1. Comunicações Táticas

Em qualquer lugar do mundo, as Forças Armadas enfrentam desafios de crescente dificuldade. O ambiente operacional atual caracteriza-se pela sua complexidade e é nestes cenários que as Forças Armadas têm de estar preparadas para atuar, não sendo os seus sistemas de comunicações alheios a esse facto. Por conseguinte, os sistemas informação e de comunicações devem possibilitar o acesso à informação em tempo oportuno e de forma eficaz para facilitar o apoio à tomada de decisão. De forma a reduzir a incerteza no campo de batalha, estes sistemas devem garantir a superioridade da informação, sendo este um requisito chave para o sucesso das operações militares [2].

Hoje em dia, os sistemas de informação e de comunicações civis têm uma preponderância elevada no desenvolvimento de sistemas congêneres militares. Esta situação deve-se aos rápidos avanços tecnológicos, em que a forma rápida de acompanhar este desenvolvimento consiste em, de certa forma, incorporar a tecnologia desenvolvida para fins civis nos sistemas de comunicações militares sendo por vezes necessário dotar essas tecnologias de uma robustez adicional. Assim, torna-se possível rentabilizar, inovar e atualizar os sistemas de uma forma mais célere e menos onerosa, garantindo-se ainda a interoperabilidade dos sistemas, bem como assegurar a segurança necessária para manter as comunicações táticas.

2.1.1 SIC-T

O SIC-T é um sistema modular de natureza conjuntural, que interliga desde os escalões de comando mais baixos até à estrutura superior de Comando de determinada Força Militar, de uma forma segura, flexível e eficiente. Por essa razão, é denominado de sistema tático, pois acompanha e apoia uma força destacada quando esta se encontra em situação de campanha, como é possível visualizar na figura 2.1 [3].

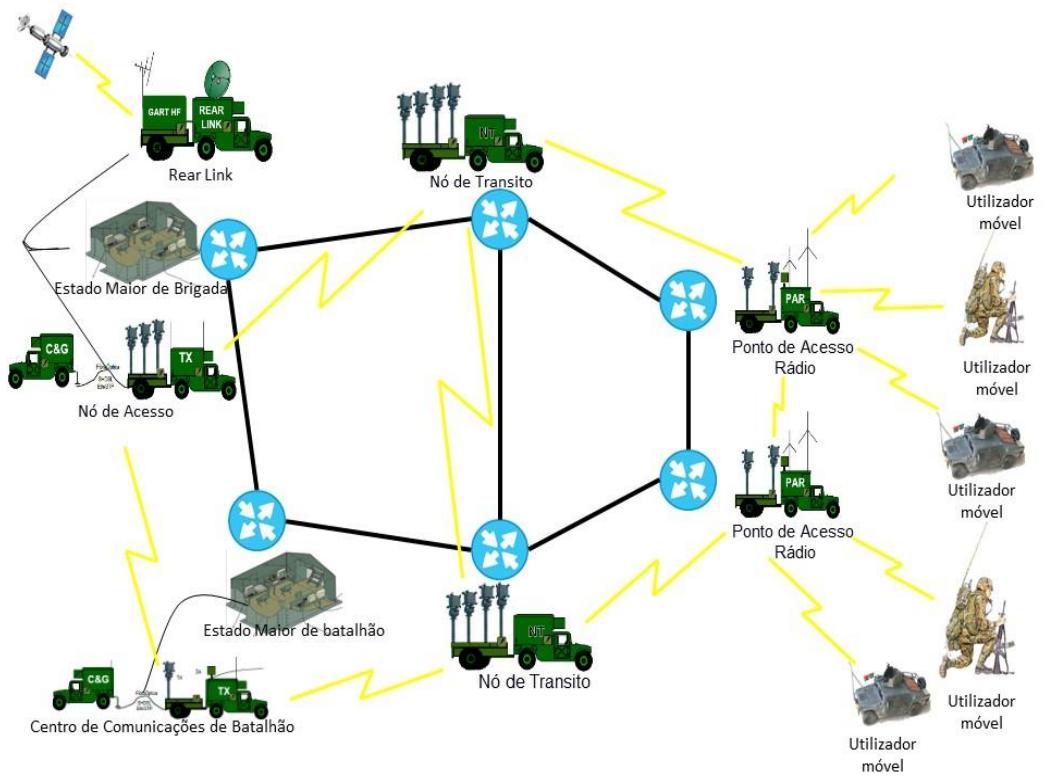


Figura 2.1 - Arquitetura do SIC-T

O facto de a estrutura do SIC-T ser modular, permite apoiar as forças militares de forma adaptável e de acordo com as suas necessidades operacionais, assegurando os canais de comunicação necessários entre os diferentes escalões de comando [3].

Este sistema tático dispõe também da capacidade de garantir a interoperabilidade, assente em tecnologia IP, de modo a dar resposta a operações conjuntas e combinadas, onde intervêm forças operacionais de outros ramos das Forças Armadas, ou de outras nações aliadas, permitindo a interligação com outros sistemas de comunicações da mesma natureza [3].

Relativamente à sua arquitetura, esta é variável e adaptável consoante a constituição da força que se está a apoiar.

O SIC-T assenta conceptualmente em duas componentes, designadamente a componente de comunicações e a componente de informação, que serão abordadas com mais detalhe de seguida.

Componente de Comunicações

A estrutura conceptual da componente de comunicações do SIC-T, encontra-se organizada em cinco subsistemas: Subsistema de Área Estendida (SAE), Subsistema de Área Local (SAL), Subsistema de Utilizadores Móveis (SUM), Subsistema de Gestão de Rede (SGR) e Subsistema de Segurança de Rede (SSR) [3]. Estes subsistemas podem ser observados na figura 2.2.

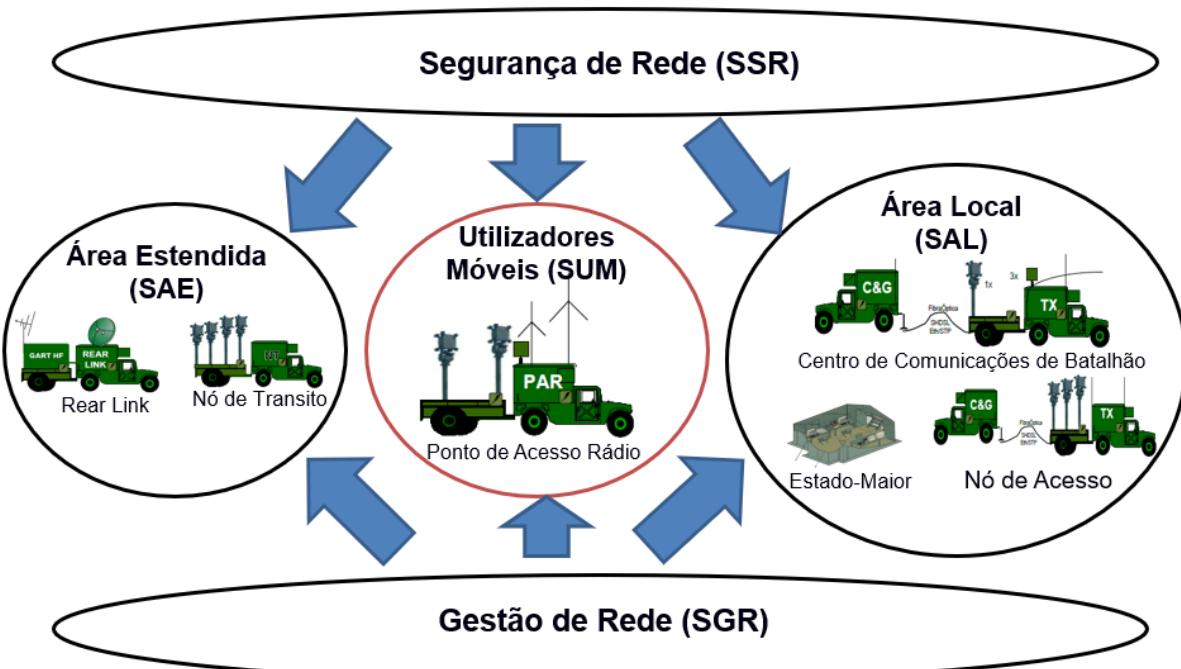


Figura 2.2 - Organização dos subsistemas do SIC-T [3]

Relativamente à componente de comunicações, esta assenta em tecnologia IP e diz respeito à infraestrutura de rede de comunicações tática, por onde é veiculada a informação do SIC-T. Este sistema é flexível e móvel, possibilitando uma elevada capacidade de adaptação a qualquer tipologia das operações militares.

O SAE constitui a espinha dorsal da componente de comunicações, integrando os módulos de comunicações Nó de Trânsito (NT) e *Rear-Link* (RL). Os módulos NT destinam-se a formar o core da rede tática de comunicações do SIC-T, numa configuração em malha, com ligações redundantes, onde as interligações entre os módulos são efetuadas, dependendo da situação tática, através de rádios multicanal (feixes hertzianos), fibra ótica ou cabos de cobre. Os módulos RL destinam-se a garantir a ligação ao território nacional através de comunicações primariamente via satélite de elevado débito e, na falha destas, como comunicações de recurso, através de comunicações na banda de HF (fonia e dados) em alta potência, quando determinada força operacional se encontra projetada em operações fora do território nacional. O módulo de comunicações RL, quando a operar em território nacional, pode também ser empregue numa situação em que não é possível garantir a interligação do SIC-T com a estrutura de comunicações permanente das Forças Armadas através de outros meios, garantido igualmente a interligação entre outros módulos de comunicações [3].

O SAL destina-se intrinsecamente a proporcionar, a um determinado grupo de utilizadores, normalmente localizados num PC, diversas categorias de serviços (telefonia IP, sistemas de informação para o comando e controlo, correio eletrónico, mensagens instantâneas, videoconferência, entre outros) que se encontram disponíveis na rede, e, extrinsecamente, garantir o acesso à estrutura superior da rede, através de um conjunto de nós de acesso [3].

O SUM destina-se a assegurar o acesso ao SIC-T, através dos Pontos de Acesso Rádio (PAR), pelos utilizadores profusamente disseminados pela área de operações que, dotados essencialmente

de equipamentos de comunicações rádio, sejam estes instalados em viaturas ou transportados a dorso, possam estabelecer comunicações em fonia e de dados com outros utilizadores do SIC-T, segundo um conceito de internet tática [3].

O SGR é transversal a todo o sistema, desempenhando funções de administração e controlo da rede de dados tática [3].

O SSR também é transversal a toda a estrutura do SIC-T e implementa diferentes domínios de segurança de rede no SIC-T, mantendo ainda a segurança de todo o sistema [3].

Após considerados todos estes importantes conceitos, o foco da tese incidirá no Subsistema de Utilizadores Móveis, designadamente no módulo de comunicações deste subsistema do SIC-T, o PAR, sendo este considerado fulcral para o desenvolvimento da presente dissertação.

Componente de Informação

A componente de informação engloba todos os serviços de comunicações e sistemas de informação disponíveis no SIC-T, imprescindíveis ao apoio da tomada de decisão.

Os sistemas de informação e comunicação implementados no SIC-T compreendem portais *web* para partilha de informação, serviços de colaboração utilizando mensagens instantâneas, videoconferência, telefonia IP, serviços de diretório, autenticação, entre outros. Dentro dos Sistemas de Informação, existem ainda os designados Serviços de Comunidade de Interesse que compreendem os sistemas de informação para o comando e controlo, onde se enquadram o Sistema de Informação para o Comando e Controlo do Exército (SICCE), o *Battlefield Management System* (BMS), entre outros. Os Sistemas para o Comando e Controlo permitem obter e partilhar a vista operacional comum das forças, bem como garantir o fluxo de informação relativo a ordens e relatórios relacionados com as operações essencialmente nas áreas do pessoal, das informações, das operações e da logística [5].

Módulo Ponto Acesso Rádio (PAR)

O PAR tem como função principal servir de interface entre as redes rádio táticas e a rede tática de dados do SIC-T, assegurando assim a comunicação entre os militares disseminados na área de operações e os escalões superiores nos postos de comando respetivos. Para além disso, o PAR é um integrador de subsistemas de comunicações, ou seja, este módulo integra o Rádio Multifuncional GRC-525 em ambiente IP, permitindo chamadas de voz por marcação automática para a rede IP (protocolo SIP) e um serviço de dados (dados IP, *Short Data Message*, *Alert Message*, georreferenciação) [3].

Através da sua componente Rádio, o PAR permite que os utilizadores móveis equipados com equipamentos rádio a operar nas bandas de HF, VHF e UHF se integrem na rede IP do SIC-T.

O módulo de comunicações PAR encontra-se equipado com diversos equipamentos de comunicações por radiofrequência, entre eles o Rádio Multifuncional GRC-525, como se verifica na figura 2.3, assim como possibilita que outros quaisquer rádios táticos possam ser integrados para garantir a interoperabilidade com outras forças, segundo as necessidades operacionais. Para além dos rádios táticos, possui ainda a capacidade de integração com redes celulares civis [6].



Figura 2.3 - Exemplo de possíveis equipamentos instalados no PAR

A presente Dissertação de Mestrado vai incidir na integração, gestão e controlo de comunicações em fonia e dados através do PAR, utilizando Rádios Multifuncionais GRC-525 e os integradores de voz ICC-201 e Basics Radio Relay, sustentando-se no conceito de *Radio Over IP* (RoIP). Vão ser realizados testes com os dois integradores, com o fim de verificar, tendo em conta as suas capacidades e funcionalidades, qual traz mais vantagens e mais potencialidades ao sistema de controlo e gestão [6].

O conceito RoIP está relacionado com a integração de equipamentos de comunicações rádio com redes de dados IP. O RoIP pode ser utilizado para garantir comunicações bidireccionais entre o “mundo” rádio e, por exemplo um sistema telefónico IP, ou mesmo para assegurar a interoperabilidade entre sistemas de comunicações rádio de diferente natureza.

2.1.2 Equipamento tático

Rádio Multifuncional GRC - 525

O Rádio Multifuncional GRC-525 (figura 2.4) é um transceptor tático que equipa atualmente os Elementos da Componente Operacional do Sistema de Forças do Exército Português (ECOSF) nas diversas versões (*manpack*, veicular e estação fixa).



Figura 2.4 - Rádio Multifuncional GRC – 525 [7]

Os sistemas táticos de comunicações nas Forças Armadas devem cumprir determinados requisitos como a flexibilidade, a interoperabilidade e, obviamente, garantir a segurança da comunicação [5].

No que respeita à segurança, o Rádio Multifuncional GRC-525 permite manter de uma forma muito eficaz a segurança nas comunicações (COMSEC) através de um mecanismo de encriptação, assim como a segurança da transmissão (TRANSEC), graças à sua capacidade de salto em frequência de elevada rapidez [7].

Relativamente à sua banda de operação, o Rádio Multifuncional GRC-525, opera num intervalo de frequências que vai desde 1,5 MHz a 512 MHz, cobrindo as bandas de frequências HF, VHF e parte do UHF. O facto deste rádio tático ser um *Software Defined Radio* (SDR) possibilita a sua atualização através de *software*, podendo ser adicionadas novas funcionalidades sem necessidade de alteração do *hardware*. A sua configuração para operação pode ser efetuada através de *software* de configuração ou manualmente [7].

Este rádio dispõe da capacidade de servir de interface para redes tipo LAN ou WAN. A atual versão de *software* permite a integração com sistemas telefónicos IP utilizando o protocolo SIP. O rádio dispõe ainda de dois modos de operação que empregam o mecanismo de salto em frequência, designadamente o modo SECOM-H, na banda de frequências HF, e o modo SECOM-V/U nas bandas VHF e UHF respetivamente [7].

Deste forma, quer o SECOM-H quer o SECOM-V/U, são modos de funcionamento para voz e dados com proteção COMSEC (comunicação segura), providenciada pela cifra antes da transmissão, e pela decifra após a receção e TRANSEC (transmissão segura), através do salto em frequência de forma transparente para o operador.

O presente equipamento disponibiliza uma API de controlo remoto para gestão e configuração através do protocolo TCP/IP ou porta-série, permitindo desta forma a interação de aplicações [8].

O Rádio Multifuncional GRC-525 possui também um modo de funcionamento para dados, utilizando a modulação OFDM através do modem de dados interno. Este modo de funcionamento é utilizado em situações em que há necessidade de débitos de transmissão mais elevados. O modem OFDM interno do rádio disponibiliza vários ritmos de transmissão de dados, entre 16kbit/s e 72

kbit/s@36kHz, com diferentes larguras de banda e permite operar na banda VHF e UHF (entre 30MHz e 512MHz) [7].

ICC - 201

O ICC – 201 é um equipamento robustecido para aplicações de comunicações militares, que disponibiliza um sistema de intercomunicação adequado para comunicações no interior de viaturas militares, nomeadamente entre elementos da tripulação, e também assegura a integração com os equipamentos rádio instalados nessas viaturas para comunicação nas redes rádio de combate. A par dessas capacidades, o ICC-201 permite ainda efetuar a integração de equipamentos rádio com redes IP, nomeadamente com sistemas telefónicos IP, através do protocolo SIP, bem como o suporte para protocolos de roteamento (estático, RIP, OSPF, BGP, ...) através de um router embebido possibilitando o encaminhamento de todo o tráfego da rede rádio para a rede IP ou entre redes rádio. O ICC-201 disponibiliza interfaces de *ethernet* e de fibra ótica para ligações WAN e LAN, e possibilita a integração de até seis Rádios Multifuncionais GRC-525 [9]. Este integrador encontra-se representado na figura 2.5.



Figura 2.5 - ICC – 201 [9]

Através dos protocolos *Voice Over IP* (VoIP), é possível estabelecer comunicações entre os Rádios Multifuncionais GRC – 525 e os telefones táticos, suportando a integração com sistemas IP PBX da Cisco e Asterisk [9].

O sistema é configurável através duma estação de gestão. O ICC-201 pode ser empregue como sistema de intercomunicação ou como *gateway* para a integração de rádios militares em redes VoIP com gestor de chamada incorporado.

Vocality Basics Radio Relay

O integrador da Vocality, o *Basics Radio Relay*, é um dispositivo que permite interligar equipamentos rádio do tipo PTT com telefonia IP, assegurando desta forma a comunicação bidirecional entre o sistema telefónico e o mundo rádio [10].

Este equipamento disponibiliza quatro portas analógicas para interligação a interfaces áudio de equipamentos rádio, como se pode observar na figura 2.6. A nível de integração com redes IP, dispõe de interfaces LAN, de um router embebido, suporta VLAN e permite a gestão e monitorização através de protocolo SNMP [11].



Figura 2.6 - Vocality Basics Radio Relay [11]

Relativamente às principais funcionalidades, o *Basics Radio Relay* suporta sinalização SIP, supressão de silêncio (*Voice Activity Detection*), com vista a reduzir a geração de pacotes RTP [12], na ausência de fonia. Possibilita ainda o funcionamento em modo Simplex e Full Duplex, disponibiliza suporte para *RTP Unicast streaming* e *RTP Multicast streaming* para minimizar o atraso na rede IP e permitir que o fluxo de media seja mais eficiente. Atualmente, o integrador *Basics Radio Relay* é compatível com diversos IP PBX de diversos fabricantes entre os quais a Cisco, Avaya, Asterisk e 3CX [11].

A nível do PAR, o *Basics Radio Relay* possibilita a integração de equipamentos rádio pertencentes a forças nacionais ou aliadas, de forma a garantir a interoperabilidade desses equipamentos com o SIC-T.

No que toca à escalabilidade, este sistema é expansível, sendo possível a interligação de outros módulos *Basics Radio Relay* em cascata para permitir a integração de um maior número de equipamentos rádio [11].

2.1.3 Estabelecimento de Chamadas entre a Rede tática e a Rede rádio

Nesta secção, vão ser abordados dois cenários de comunicações táticas. O primeiro consiste numa situação em que o posto de comando pretende contactar com um militar em particular que se encontre a desenvolver as suas ações na área de operações. Este cenário constitui-se como um panorama de grande relevo, uma vez que o Sistema desenvolvido vai ao encontro do melhoramento de alguns aspetos que se constituem como limitações no Sistema atual. Para além disso é ainda apresentada o processo de estabelecimento de comunicação no sentido inverso.

Posto de Comando efetua a chamada com as forças no terreno

De seguida vai ser descrito como se estabelece a comunicação entre o PC e um operador rádio presente numa viatura militar, onde é o PC a entrar em contacto com o utilizador móvel, como se pode observar na figura 2.7:

- Um utilizador num PC marca o número atribuído à rede rádio, verificando previamente a extensão; assim, efetua a chamada para o rádio gateway da rede, onde o operador rádio que pretende contactar, se encontra;
- Agregado ao ICC-201, presente no PAR, encontram-se seis rádios gateways, todos inseridos em redes diferentes, onde se encontra pelo menos uma entidade presente. Quando é detetada a chamada no Rádio gateway destino, este atende automaticamente após o período de tempo que se encontre configurado;

- O Utilizador no posto de comando entra em contacto com o utilizador rádio destino, ocupando a comunicação de toda a rede, ficando à escuta todos os operadores rádio presentes nesta. A comunicação obedece a determinados protocolos predefinidos nas comunicações militares, os quais retardam o resultado final, ou seja, transmitir a informação que o Utilizador no posto de comando pretendia.

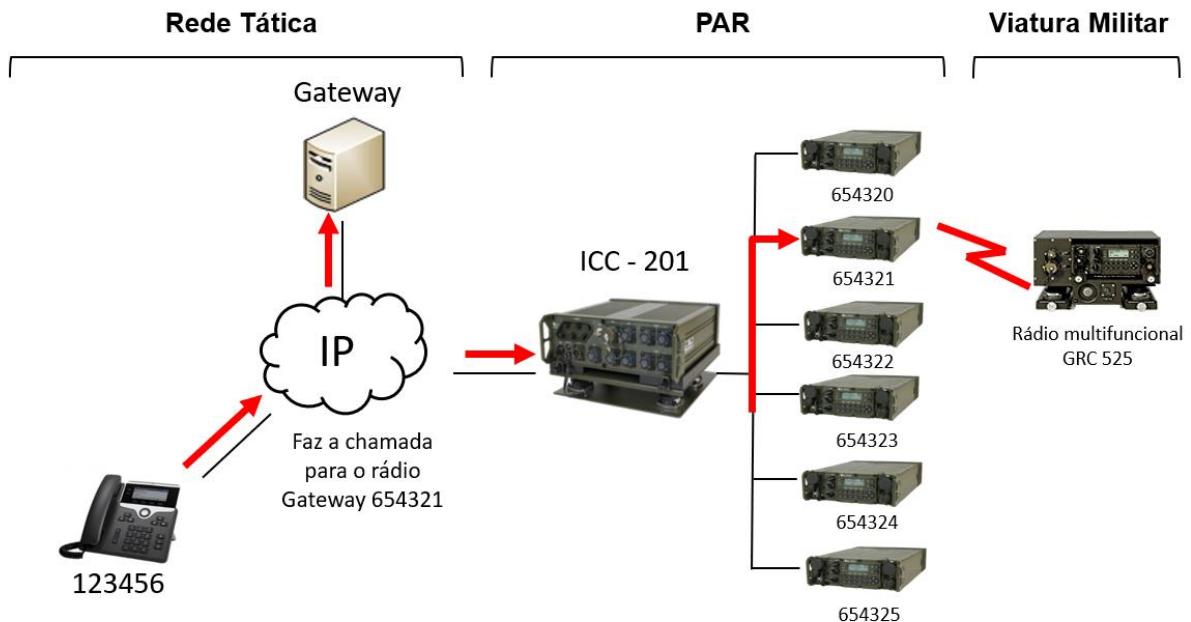


Figura 2.7 - Esquema do estabelecimento da chamada entre posto de comando e utilizador rádio

Como se pode verificar, esta solução não é prática, na medida em que, se a rede rádio, cuja extensão é 654321, como é demonstrado na figura 2.7, for composta por mais entidades do que o operador rádio final, não permitirá a existência de confidencialidade na chamada. Para além da limitação indicada, enquanto a chamada entre estes dois indivíduos estiver a decorrer, os restantes participantes da rede, não poderão transmitir.

Caso o Utilizador do posto de comando pretendesse estabelecer uma chamada privada, teria de entrar em contacto com o operador rádio e negociar um novo canal de comunicação. Após este processo, o Utilizador do posto de comando teria de efetuar uma nova ligação para um rádio gateway que se encontrasse disponível e esperar que o operador rádio comutasse de *preset page*, de modo a entrar na nova rede rádio.

Comunicações entre militares no terreno e posto de comando

Semelhante à situação anterior, mas com a diferença de que, agora, irá ser descrito o caso em que o utilizador rádio, pretende iniciar uma comunicação com o posto de comando:

- O operador rádio marca o número da extensão atribuída ao utilizador do posto de comando a que se destina (analogamente ao primeiro procedimento do processo anteriormente mencionado) e também este necessita de verificar previamente o indicativo;

- Uma vez que o rádio do utilizador móvel, para este fim deve encontrar-se no modo de configuração VoIP, e este consiste num *endpoint*, para estabelecer a chamada com o utilizador do posto de comando terá de passar pelo rádio *gateway* presente no PAR;
- Do lado do utilizador do posto de comando, este recebe a chamada originada com o indicativo da rede rádio em que o operador rádio se encontra, ou seja, com a extensão associada ao rádio *gateway* correspondente. Após o atendimento da mesma, está estabelecida a chamada.

À semelhança do processo primeiramente abordado, surgem novamente os problemas relacionados com o congestionamento da rede e com a confidencialidade das comunicações, apresentando-se como possível solução a mesma explanada para o caso anterior, isto é, a negociação por parte dos dois intervenientes acerca da comutação para um novo canal que se encontre disponível para a comunicação, ou seja, a mudança da parte de ambos para uma rede rádio onde não se encontre nenhum participante presente.

2.2. VoIP

A tecnologia VoIP [13] (voz sobre IP), atualmente utilizada a nível global, permite o transporte de sinais de voz utilizando o protocolo IP.

O VoIP pode ser utilizado em qualquer rede de dados IP, como a Internet e as redes de área local (LAN). O seu uso tem crescido ao longo dos anos, o que se deve à sua flexibilidade e à sua eficiência de custo decorrente do facto de ser sustentado em redes de comutação de pacotes e não necessitar por isso de circuitos físicos dedicados. Tem-se verificado ainda o seu emprego em aplicações de comunicação que se apoiam na Internet, como é o caso de algumas redes sociais (*WhatsApp*, *Facebook Messenger*, ...), bem como ao nível organizacional com a sua implementação nos sistemas de telefonia assentes em redes IP [13].

Relativamente ao processamento dos dados no VoIP, este realiza-se da seguinte forma: no lado do remetente, os sinais de voz analógicos são convertidos em sinais digitais, comprimidos, e depois colocados num formato específico utilizando um *codec* de voz, como por exemplo: G.711, G.729 e G.723. A voz codificada vai ser dividida em pacotes com a mesma dimensão, a estes pacotes são adicionados cabeçalhos RTP, UDP, IP e o cabeçalho da camada de ligação de dados [14].

Os pacotes são enviados pela rede de dados (IP) até ao destino, onde se procede à decodificação e desempacotamento. Durante a transmissão, pode ocorrer o *jitter* (variação de tempo de entrega de pacotes). Para tal, é utilizado um *buffer* para reduzir o impacto do *delay* causado [14].

O Serviço de telefonia IP emprega tecnologia VoIP e usa protocolos de sinalização, nomeadamente o Protocolo de Iniciação de Sessão (SIP) e H.323. Estes protocolos de sinalização são necessários para estabelecer chamadas telefónicas VoIP e para terminar o fluxo de dados entre clientes [14].

2.2.1. SIP

O Protocolo de Início de Sessão (SIP) [15] é um protocolo de sinalização utilizado para estabelecer, modificar e terminar uma sessão interativa entre dois ou mais participantes. O SIP é maioritariamente empregue na telefonia por IP.

A arquitetura é semelhante à encontrada no protocolo HTTP, na medida que as mensagens são baseadas em texto e são utilizados protocolos cliente-servidor. Estes fazem parte da camada de aplicação do modelo OSI, como se pode observar na figura 2.8, em que a transmissão de dados é feita pelo protocolo TCP ou UDP [16].

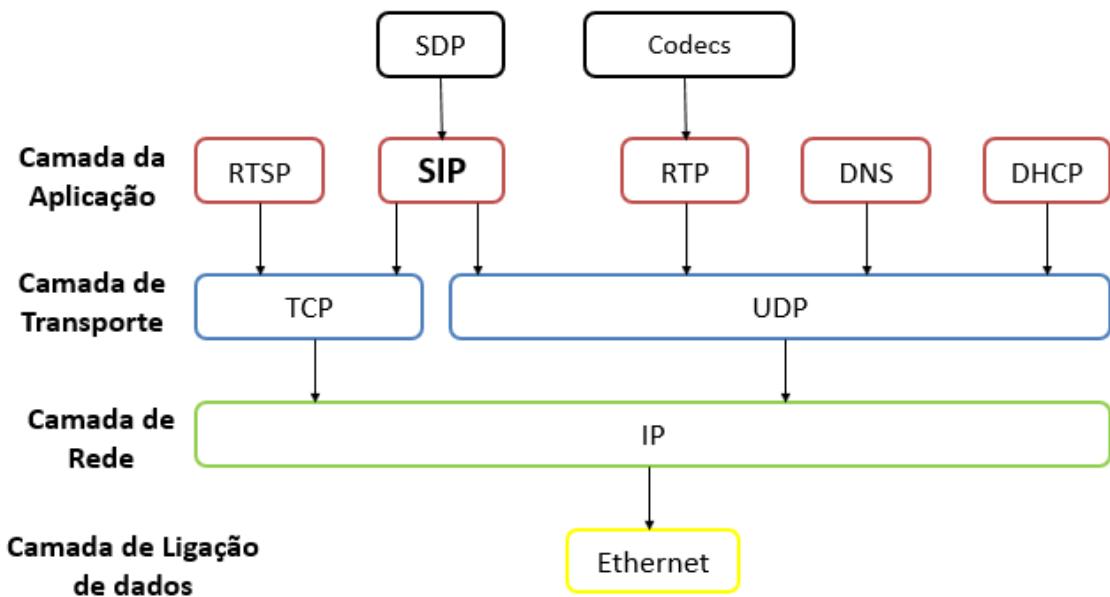


Figura 2.8 - Esquema do Protocolo SIP [13]

Após o estabelecimento da chamada entre os utilizadores, o protocolo SIP torna a comunicação multimédia possível através de dois protocolos, RTP/RTCP, para transportar dados de áudio e vídeo em tempo real. Para além destes protocolos, e relacionado com o protocolo SIP, existe também o protocolo SDP (*Session Description Protocol*), que é utilizado para definir os parâmetros necessários à troca de dados multimédia [17]:

- Qual é o endereço IP e o porto que está preparado para receber áudio e vídeo;
- Qual o tipo de media que é esperado pelo destinatário;
- Qual o protocolo utilizado na troca da informação (RTP/RTCP);
- Qual é o codec utilizado na compressão dos dados.

Para estabelecer, modificar e terminar a chamada, o SIP utiliza mensagens padronizadas com funções distintas, como se encontra representado na figura 2.9. São exemplos destas mensagens:

- INVITE - Indica que um utilizador ou um serviço está a ser convidado para participar numa chamada;
- ACK – Confirma que o cliente recebeu a última resposta;

- **BYE** – Termina uma chamada, esta mensagem pode ser enviada por qualquer um dos utilizadores participantes na chamada;
- **CANCEL** – Cancela qualquer pedido pendente, exceto chamadas que já tenham sido aceites;
- **REGISTER** – Regista a informação acerca da localização de um utilizador num servidor SIP.

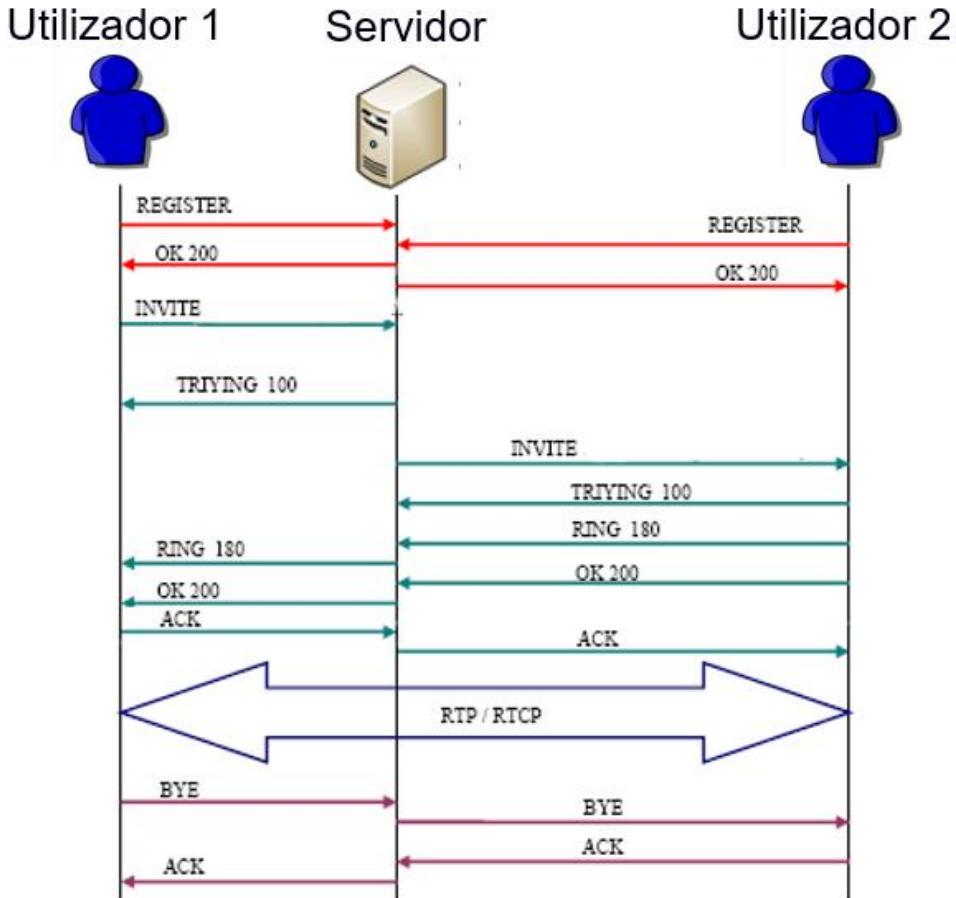


Figura 2.9 - Estabelecimento de uma sessão SIP [13]

2.2.2. Asterisk

Asterisk [18] é uma plataforma telefónica *open source* que implementa um *Private Branch Exchange* (PBX) de telefones. Esta plataforma permite anexar inúmeros telefones de modo a realizar chamadas entre eles, conseguindo assim transformar um computador num servidor de comunicações.

Foi criada com o intuito de substituir grandes sistemas telefónicos, deste modo economizar não só ao nível de equipamento, mas também em consumo energético, uma vez que utiliza mecanismos sobre IP; também traz a vantagem de economizar no que toca à realização de chamadas internacionais. Desenvolvida para correr no sistema operativo Linux, conta com vários protocolos associados, entre eles o SIP e o H.323. Para além de implementar o PBX, conta também com outras funcionalidades como IVR (*Interactive Voice Response*), permite videoconferência, *voice-mail*, entre outras [19].

Relativamente à sua arquitetura, o Asterisk é constituído por módulos, como se encontra explanado na figura 2.10, facto este que lhe confere flexibilidade, já que os módulos podem ser de vários tipos: recursos, tradutores de *codecs*, módulos de teste, aplicações, funções para *dialplans* e interpretadores de diversos formatos [19].

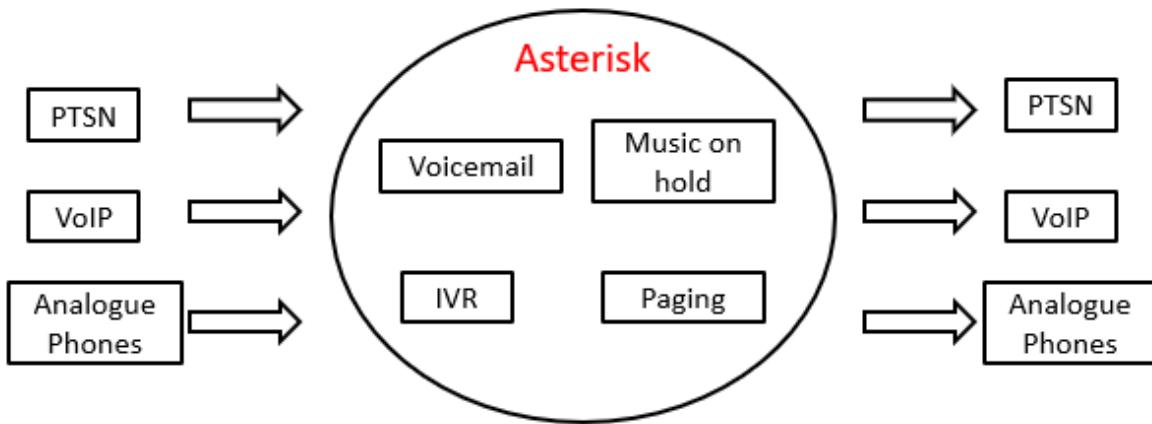


Figura 2.10 - Funcionalidades da plataforma Asterisk [15]

2.3. VoIP no Rádio Multifuncional GRC-525

O Rádio Multifuncional GRC-525, dispõe da funcionalidade do serviço VoIP. Assim, é possível que, através de um rádio, sejam realizadas comunicações de voz com um utilizador VoIP, como por exemplo um telefone VoIP que esteja presente na rede IP.

Para além desta funcionalidade, o rádio possui também a capacidade de controlo remoto, capacidade esta que pode ser igualmente utilizada quando o rádio está a operar com o serviço VoIP ativo.

Numa rede rádio, existe um rádio que está configurado como rádio *gateway* VoIP. Este rádio encontra-se ligado via *ethernet* a uma rede IP, e é a partir deste que as chamadas da rede rádio são originadas para um utilizador VoIP, ou é para este rádio que as chamadas são encaminhadas quando o destinatário é a rede rádio, tendo estas chamadas sido iniciadas por um utilizador VoIP com a intenção de falar com alguém presente nessa rede. Os restantes rádios da rede, que estão apenas interligados por rádio frequência, são designados de *endpoints*, como se pode observar na figura 2.11. Para a configuração dos rádios como *gateways* ou *endpoints* é utilizada a aplicação *Mission Planner* [20].

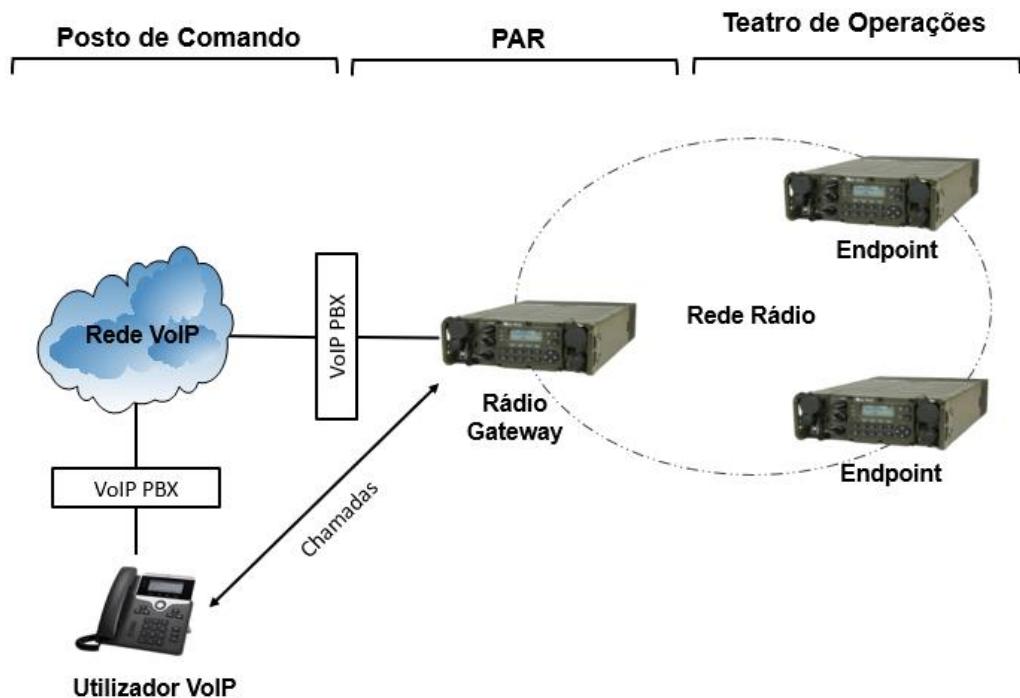


Figura 2.11 - Interligação entre a rede VoIP e a rede Rádio

Para estabelecer a comunicação entre o rádio gateway e os utilizadores VoIP, é necessário que estes estejam registados em PBX; que no caso da presente dissertação, foi utilizado o Asterisk. Assim caso um utilizador VoIP, pretenda efetuar uma chamada com um *endpoint* presente numa rede rádio, tem de efetuar a chamada com a *gateway* correspondente. Esta chamada será escutada por todas as entidades na rede, ou seja, é efetuada em *broadcast*, e sempre que alguma entidade esteja a transmitir ou caso o utilizador VoIP esteja a transmitir, mais ninguém da rede o pode fazer.

Os Rádios *gateway* apenas permitem efetuar uma chamada de cada vez, utilizando o protocolo SIP para voz e dados.

2.3.1. Implementação do PTT sobre IP no SIC-T

Uma das principais características das comunicações militares é o facto de estas terem de ser breves, concisas e seguras, o que se deve ao facto da urgência da transmissão de informações críticas em algumas situações.

Uma vez que as redes militares são constituídas por vários elementos, dos quais apenas um pode transmitir de cada vez, ocupando automaticamente toda a rede, até que este utilizador liberte o PTT, ficando os restantes elementos apenas à escuta. A funcionalidade do PTT assegura a rápida alteração do estado de ocupação da rede, visto que o tempo de transmissão de mensagens se torna mais curto e eficiente. Para além disso, permite também um consumo de energia muito inferior nos rádios, o que se revela um fator preponderante, uma vez que, por vezes estes necessitam de estar por longos períodos de tempo em funcionamento.

Desta forma, integrando os telefones VoIP com a rede rádio, surge a necessidade de adaptar este sistema com a funcionalidade do PTT. Para tal, os telefones foram configurados com este

mecanismo, passando a utilizar a tecla “1” para iniciar a transmissão PTT e a tecla “2” para terminar a transmissão PTT, como se pode observar na figura 2.12.



Figura 2.12 - Implementação do protocolo de PTT nos telefones fixos [21]

2.3.2. VOI525

Uma das mais recentes inovações do Exército Português é o VOI525. O VOI525 é um sistema que permite comunicar através de browsers com rádio Multifuncional GRC-525. Este sistema permite comunicar com N redes rádio, como se pode verificar na figura 2.13. Permite ainda a configuração do rádio assim como a visualização de dados deste [22].

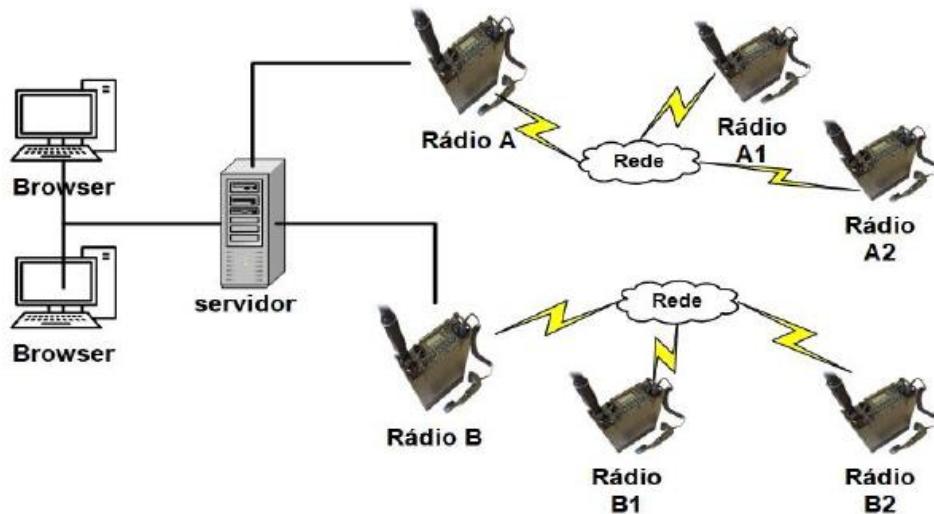


Figura 2.13 - Implementação do Sistema VOI525 [21]

O VOI525 é um sistema baseado num modelo cliente-servidor, em que a aplicação cliente se encontra programada para browsers, e está conectada à rede do Exército, de modo a garantir a

segurança e o controlo de acessos, enquanto o servidor processa toda a informação proveniente dos mesmos e guarda todos os registos das alterações e operações efetuadas [22].

Este sistema conta com tecnologias distintas, que variam consoante as aplicações em que estas se encontram inseridas. Ao nível da sinalização, utilizou-se um servidor que permite o registo dos utilizadores para que possam realizar comunicações entre o *Gstreamer* e a aplicação JavaScript (JS) em browsers. Relativamente ao processamento de áudio utilizou-se também o *Gstreamer*, que é uma *framework* que permite criar aplicações de *media* em tempo real, e que é pensada para facilitar a criação de aplicações que utilizem áudio e vídeo. No que toca à aplicação *web*, o sistema conta com o *Flask* que é uma pequena *framework* web escrita em *Python*. Esta ferramenta tem a flexibilidade da linguagem de programação *Python* e prevê um modelo para o desenvolvimento *Web* [22].

A aplicação *web* desenvolvida corre sobre o protocolo HTTPS, o que garante que os dados sejam transmitidos por meio de uma ligação criptografada e que se verifique a autenticidade do servidor e do cliente por meio de certificados digitais [22].

3. Sistema de Controlo e Gestão

Neste capítulo, será apresentado o sistema que vai ao encontro da solução proposta descrita no subcapítulo 1.4.. A presente aplicação permite, de uma forma dinâmica e eficiente, efetuar o controlo e a gestão de chamadas entre uma rede IP e uma rede rádio, aplicando o conceito de RoIP [23]. Para além disso, permite a seletividade e a confidencialidade de chamadas entre um militar, num dado posto de comando e um militar que se encontre num TO, o que até então não era possível.

O Sistema dispõe também de outras funcionalidades como a criação de um histórico de eventos, ou seja, são registadas todas as atividades que um utilizador realize através do Sistema, desde *login*, chamadas que este efetuou, entre outras...

3.1. Requisitos

O presente Sistema tem de cumprir determinados requisitos no que respeita a aspetos como a segurança, a funcionalidade e a interoperabilidade, assim, este subcapítulo destina-se a abordar os mesmos.

3.1.1. Requisitos de Segurança

No âmbito militar, a informação é um dos fatores mais importantes para o sucesso da missão. Consequentemente, o Sistema de Controlo e Gestão deve obedecer a alguns requisitos que permitam assegurar o cumprimento das propriedades fundamentais da segurança da informação:

Comunicação rádio SECOM (RS1)

Os rádios deverão encontrar-se todos no modo SECOM, de modo a garantir a segurança das comunicações, com a capacidade de salto de frequência e encriptação das comunicações, de modo a impossibilitar a interceção das comunicações por parte de alguma entidade inimiga.

Autenticação na aplicação (RS2)

A aplicação só deve ser operada pelos utilizadores autorizados; assim, qualquer individuo que pretenda aceder à aplicação deverá efetuar a respetiva autenticação com um ID e uma password. As credenciais deverão ser geradas pelos administradores da aplicação, sendo difundidas aos operadores de forma segura.

Níveis de Acesso à informação (RS3)

Relativamente ao presente requisito, terá de existir a necessidade de efetuar algum controlo de acesso no que toca aos utilizadores. Primeiramente, deverá ser garantido que apenas os utilizadores autenticados possam ter acesso ao Sistema. Em segundo lugar, os utilizadores autenticados deverão ser divididos por categorias consoante a função de cada um para uma dada missão, ou caso algum daqueles intervenha no desenvolvimento e manutenção do Sistema. Assim sendo, cada utilizador deverá ter acesso a determinadas funcionalidades na aplicação consoante a categoria em que se insere.

Integridade da informação do sistema (RS4)

O Sistema deverá assegurar que toda a informação que circula no sistema se encontra inalterada, sendo fiável para todos os utilizadores; só desta forma este requisito será cumprido.

O sistema deverá estar assente no protocolo HTTPS (RS5)

O protocolo HTTPS traz algumas vantagens no que diz respeito à segurança, mais especificamente no que toca à transferência segura de dados, à encriptação de conteúdos e à privacidade dos utilizadores, protegendo-os de diversas ameaças possíveis nas páginas web. Deste modo, trata-se de um requisito fundamental a ser levado em conta no desenvolvimento do Sistema [24].

3.1.2. Requisitos Funcionais

Os requisitos funcionais são os requisitos que se pretende que o sistema tenha a capacidade de disponibilizar aos seus utilizadores, tendo em vista a eficiência de meios a utilizar e o sucesso das comunicações:

Utilização de Telefone VoIP como meio de Comunicação como terminal no Posto de Comando (RF1)

Pretende-se que no PC exista um telefone VoIP e um computador atribuído às entidades que nele se encontram, implementando a substituição do rádio pelo telefone VoIP, poupando-se o número de rádios a utilizar, que têm um custo associado muito superior.

Grande distância de comunicação (RF2)

Um fator preponderante que a evolução tecnológica permitiu foi a comunicação a longas distâncias através da integração das redes rádio na rede IP. Embora os rádios possam comunicar entre eles através de radiofrequência, os rádios instalados no PAR (*gateways*) encontram-se integrados na rede IP, permitindo, deste modo a comunicação por radiofrequência entre os rádios disponíveis no TO e estabelecer chamadas com os telefones presentes no SIC-T, através da rede IP, possibilitando assim comunicações a longas distâncias entre os utilizadores do Sistema e os operadores rádio presente no TO.

Criação de um registo de eventos (RF3)

O Sistema deve ser capaz de registar todos os eventos que sejam realizados na aplicação, desde os *logs*, o estabelecimento e o término de chamadas, a gravação das mesmas e o envio de mensagens. Contudo, este registo, por motivos de segurança, não deverá estar acessível a todos os utilizadores.

Efetuar chamadas privadas (RF4)

Um aspeto muito limitado nas redes rádio de combate é o facto da transmissão de mensagens por parte de cada operador, ser efetuada em *broadcast*, ocupando toda a rede com a transmissão. O sistema deve estar dotado com a capacidade de um utilizador no PC, com um telefone, conseguir estabelecer uma chamada com uma rede rádio, ou apenas com uma entidade específica nessa rede rádio.

Forma rápida e interativa de estabelecer uma comunicação (RF5)

O Sistema de Controlo e Gestão, deverá ser concebido em moldes que permitam a sua simples utilização, de modo que também possibilite a interatividade com o utilizador, e acima de tudo, se consiga efetuar o estabelecimento de comunicações de forma rápida, devido à necessidade imposta

pelo ambiente que este se insere; apesar disso, deverá cumprir todos estes requisitos sem que a segurança seja posta em causa.

Não existir intervenção humana no PAR (RF6)

O módulo PAR é constituído por rádios *gateways*, rádios estes que estão configurados no modo VoIP e que estabelecem as chamadas telefónicas com os utilizadores que se encontram no PC. O Sistema de Controlo e Gestão deverá ser capaz de dotar estes rádios com um certo grau de autonomia, de modo a que estes efetuem as ações de atendimento de chamadas sem a necessidade de intervenção humana, poupando esforços e recursos humanos neste sentido.

3.1.3. Requisitos de Interoperabilidade

O Sistema de Controlo e Gestão deverá cumprir determinados requisitos de interoperabilidade, uma vez que este sistema integra dois mundos distintos: o mundo rádio e o mundo da telefonia VoIP; com vista à partilha de informação entre estas duas tecnologias, surgem os seguintes requisitos:

Integração da rede rádio com a rede IP (RI1)

O Sistema de Controlo e Gestão, deve ser capaz de integrar a rede rádio com a rede IP, trazendo inúmeros benefícios no que concerne ao aumento da distância de comunicações, facilidade de acesso ao rádio Multifuncional GRC – 525, entre outros.

Integração da rede rádio com a rede VoIP (RI2)

O Rádio Multifuncional GRC - 525, conta com a funcionalidade de poder efetuar chamadas com o protocolo VoIP; assim, é esperado que o Sistema incorpore esta capacidade, de forma a poder tirar partido das funcionalidades do Rádio uma vez que, através destas, é possível registar os rádios num PBX, e efetuar chamadas de forma semelhante a um telefone.

Interação com o Rádio Multifuncional GRC-525 através de uma aplicação web (RI3)

Uma das funcionalidades mais importantes do Rádio Multifuncional GRC-525 é a capacidade de ser controlado remotamente. A presente aplicação deverá ser capaz de controlar remotamente os rádios que se encontram interligados na rede IP. Com o controlo remoto do rádio, é possível ter acesso a alguns menus de que este dispõe, como o menu das mensagens, das chamadas, dos participantes na rede, entre outros.

Integração do modelo PTT no sistema de telefonia VoIP (RI4)

Devido ao facto das comunicações rádio exigirem a utilização do modelo PTT, uma vez que estas têm de ser rápidas, concisas e objetivas, também existe a necessidade de a rede telefónica incorporar esse modelo, assim como a definição de protocolos que se enquadrem e permitam a comunicação PTT nos telefones VoIP.

3.2. Casos de Uso

O Sistema de Controlo e Gestão providencia diferentes funcionalidades que podem não estar disponíveis a todos os tipos de utilizadores. Deste modo, destacam-se duas categorias de utilizadores desta aplicação: os Administradores e os Operadores.

3.2.1. Administradores

Esta categoria de utilizadores é constituída pelos administradores da rede local do SIC-T, equipa esta que é responsável por toda a manutenção e implementação do Sistema de Gestão e Controlo.

Esta equipa tem diversas funções, como por exemplo, a configuração dos rádios. Como foi mencionado em secções anteriores, os rádios podem ser configurados como *gateways*, caso tenham acesso à rede IP e onde podem ser integrados com o serviço de VoIP, ou podem ser configurados como *endpoints*, *endpoints* estes que estão inseridos na rede de um *gateway*. Ainda relacionado com a configuração, os elementos do SIC-T, são também incumbidos de atribuir outros parâmetros nos rádios, como a rede a que pertencem, as *preset pages*, as frequências, a forma de onda, entre outros parâmetros.

Estas configurações variam consoante a necessidade de cada missão e são introduzidas no software *Mission Planner* [20].

Os administradores são também responsáveis pelo controlo de acesso à aplicação, pois são eles que fazem o registo dos operadores, que vão estar presentes em determinadas missões, atribuindo-lhes as credenciais necessárias para efetuar o *login* na aplicação e a extensão telefónica que se interliga diretamente com o utilizador que faz o *login*.

Ainda associada à categoria de administradores, apenas estes têm permissão de acesso ao histórico/logs de eventos da aplicação, bem como aos ficheiros onde são gravadas as chamadas que se realizam através da aplicação.

3.2.2. Operadores

Esta categoria de utilizadores do Sistema de Controlo e Gestão destina-se àqueles que se encontram no PC e que têm a si atribuídos um computador e um telefone VoIP.

O registo dos operadores e a distribuição de credenciais de autenticação é da responsabilidade dos administradores. Assim que os operadores têm posse das mesmas já podem fazer o *login* na aplicação, o telefone que têm atribuído já se encontra ativo e interligado com o Sistema.

Esta categoria tem a possibilidade de efetuar chamadas diretamente para uma rede rádio ou fazer chamadas privadas para entidades específicas, dentro de uma rede rádio que se encontre em TO.

3.3. Arquitetura

No que toca à arquitetura do Sistema de Controlo e Gestão, este encontra-se inserido no PC, pertencendo à rede tática e está interligado ao utilizador através do *browser*, como se pode observar na figura 3.1. Para além disso, também se interliga ao PBX, mais concretamente ao Asterisk, que é configurado sempre que se inicia uma nova missão. A presente arquitetura foi desenvolvida com vista a cumprir os requisitos definidos no subcapítulo 3.1.

As ligações numeradas (figura 3.1) vão ser explanadas de seguida com maior detalhe, com o intuito de se compreender quais os protocolos que são utilizados e o tipo de dados que é transferido entre cada componente da arquitetura.

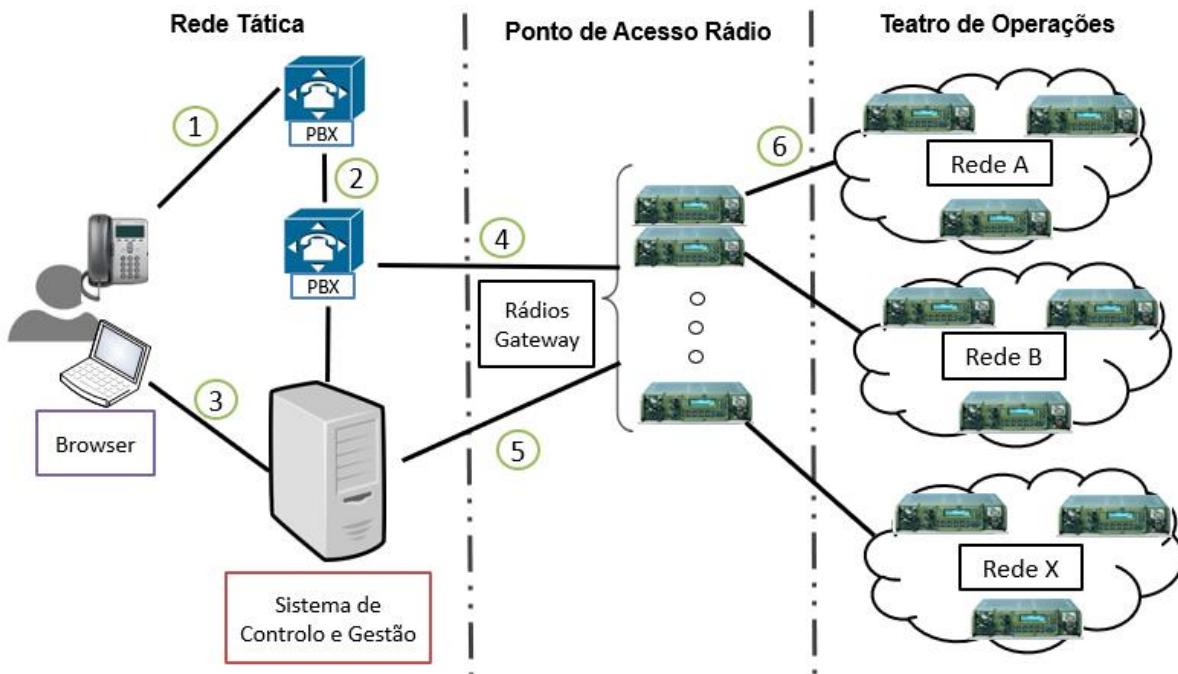


Figura 3.1 - Introdução do Sistema de Controlo e Gestão na Arquitetura do SIC -T

Na ligação nº 1, os telefones VoIP do SIC-T encontram-se todos registados no PBX, o *Call Manager Express* [25].

Na ligação nº 2, é efetuada uma tronca SIP [26], de modo a interligar o PBX utilizado pelo SIC-T e o PBX onde estão registados os telefones utilizados para uma missão, permitindo assim a comunicação entre entidades externas ao ambiente operacional, por exemplo militares que se encontram em Lisboa comunicar com um militar no TO no Afeganistão.

Para a ligação nº 3, é utilizado o protocolo HTTPS, que permite ao *browser* correr o Sistema de Controlo e Gestão de forma segura.

A ligação nº 4 diz respeito à voz, em que o PBX do Sistema de Controlo e Gestão é responsável por garantir a troca de mensagens de voz entre os telefones no PC e externos, como foram mencionados na ligação nº 2, comunicar com os militares no TO, utilizando protocolos como o SIP e o RTP.

Na ligação nº 5, está presente o controlo remoto efetuado pelo Sistema de Controlo e Gestão aos Rádios Multifuncionais GRC – 525 presentes no PAR (*gateways*). O controlo remoto é efetuado com o estabelecimento de uma ligação TCP/IP utilizando *Sockets* [27], através da qual são enviados comandos de acordo com API disponível, sendo possível controlar os parâmetros do Rádio.

Por fim, a ligação nº 6, diz respeito à transmissão de informação por radiofrequência entre os rádios presentes no PAR (*gateways*) e os rádios na área de operações (*endpoints*), onde cada Rádio Multifuncional GRC – 525, presente no PAR, pode estar destacado para uma determinada rede rádio ou para chamadas privadas entre o escalão superior e os militares no TO.

Na figura 3.2, é apresentada uma perspetiva mais focada no Sistema de Controlo e Gestão desenvolvido, onde é possível observar todos os módulos que este engloba: o Módulo de Controlo da Comunicação, o Módulo do Histórico de Atividade, o Módulo do Gestor de Utilizadores e o Módulo do Controlo dos Rádios, bem como a forma que estes se interligam com os elementos externos ao Sistema. Seguidamente, apresenta-se e efetua-se a explicação da função de cada um desses módulos.

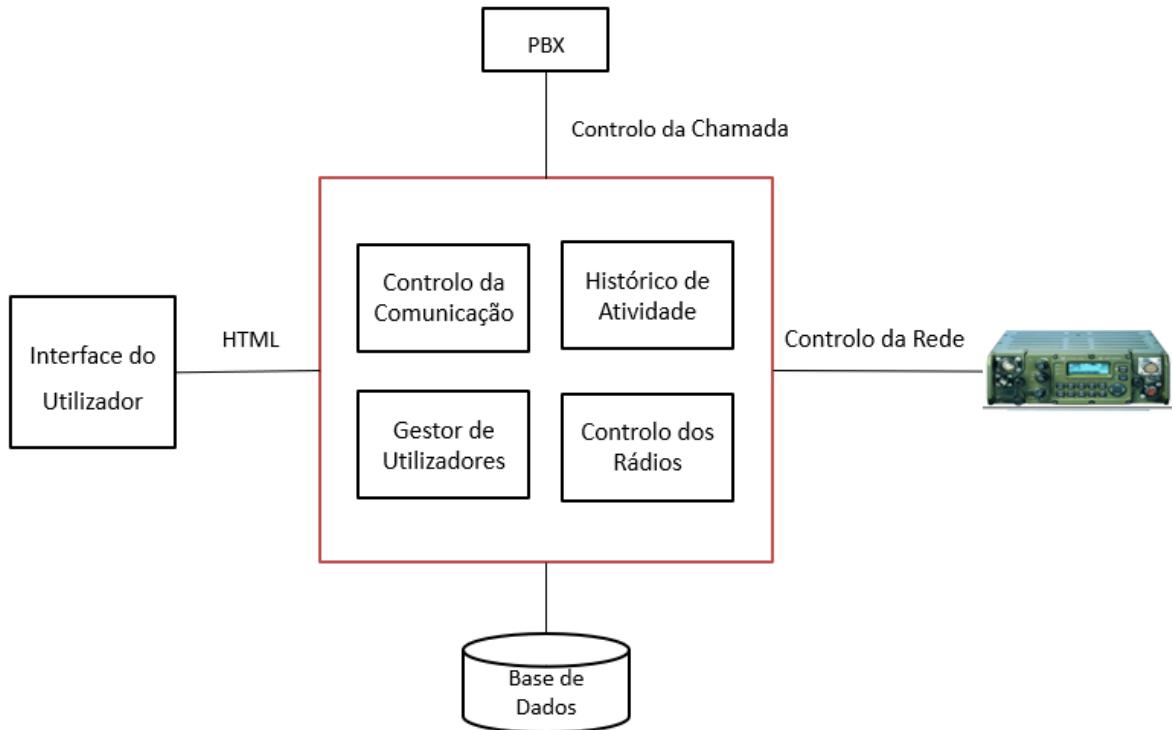


Figura 3.2 - Arquitetura do Sistema de Controlo e Gestão

O Módulo de Controlo da Comunicação é o módulo responsável por toda a comunicação do Sistema, estabelecendo a ponte entre os protocolos do Rádio Multifuncional GRC – 525 e os telefones utilizados no PC, de modo a permitir a comunicação entre ambos.

No que diz respeito ao Módulo de Histórico de Atividade, este é responsável por registar todos os eventos que um utilizador realize através do Sistema de Controlo e Gestão, desde o simples *Login/Logout*, ao estabelecimento e término de uma chamada, bem como a gravação da mesma.

Relativamente ao Módulo de Gestor de Utilizadores, este módulo destina-se aos administradores do Sistema, e são eles que o configuram, quer do lado dos utilizadores do PC quer do lado das redes rádio, sendo estes os responsáveis por dar acesso aos utilizadores para uma determinada missão e por criar as redes rádio necessárias também para essa missão.

Por fim, o Módulo de Controlo dos Rádios, tem como função controlar os rádios que se encontram no PAR ligados por IP, através da funcionalidade de que estes dispõem de controlo remoto, permitindo o estabelecimento de chamadas VoIP, o envio de mensagens, o acesso à lista de participantes da rede, entre outros, sem que seja necessária a intervenção humana.

Todos estes módulos estão ligados a uma base de dados onde é armazenada a informação que diz respeito a cada um.

3.4. Modelo de Dados

No que toca ao modelo de dados do Sistema, este encontra-se representado na figura 3.3, seguindo o modelo de UML (*Unified Modeling Language*), de forma a simplificar a sua explicação e a melhor compreensão de como todos os elementos se interligam no Sistema.

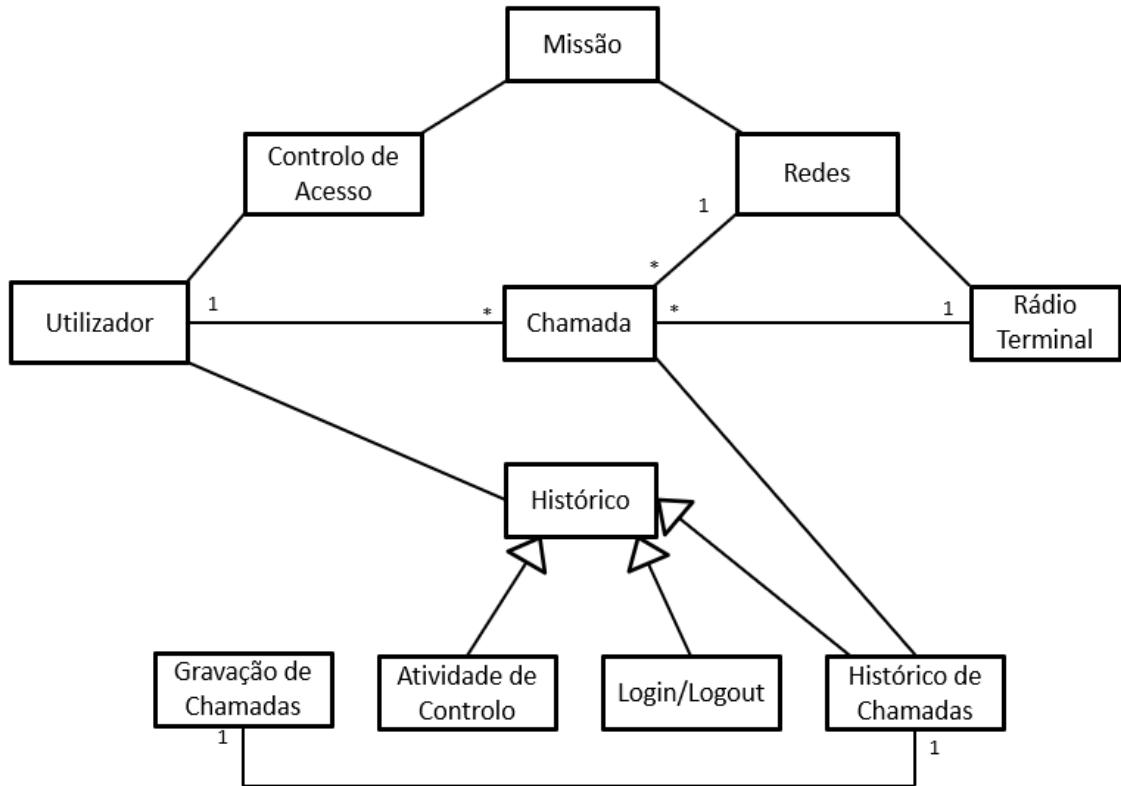


Figura 3.3 - Modelo de Dados do Sistema de Controlo e Gestão

Para uma dada Missão, os Administradores do Sistema de Controlo e Gestão dão acesso a um número específico de Utilizadores, nomeadamente aos que intervêm diretamente na missão, ou aos utilizadores externos que necessitem de comunicar com alguém no TO e tal se justifique.

Para uma Missão, são também configuradas, em número necessário, as Redes Rádio que permitam aos militares a flexibilidade de comunicações. Os Administradores configuram os rádios *gateways* no PAR e distribuem os rádios *endpoints* aos seus operadores no TO, também estes configurados e inseridos nas redes a que pertencem.

O Sistema de Controlo e Gestão permite a um Utilizador, após efetuar o *login*, realizar chamadas, quer para uma Rede rádio, falando em *broadcast* de modo a que todos os terminais presentes na rede escutem a comunicação, quer a possibilidade de efetuar chamadas privadas para um rádio terminal em específico, não ocupando toda a rede.

Todos os eventos que o Utilizador realize através do Sistema de Controlo e Gestão são registados no Histórico, dos quais se destacam o *Login/Logout*, a troca de mensagens entre o Sistema e o rádio que se enquadra na Atividade de Controlo, e os detalhes relativos às chamadas, mais especificamente o estabelecimento e o término das mesmas; ainda no âmbito destas, é possível efetuar a gravação das mesmas.

3.5. Tecnologias de Implementação

O presente subcapítulo é destinado à apresentação das tecnologias utilizadas para o desenvolvimento desta solução, tornando possível simplificar sistemas/processos que outrora levariam a implementações mais complexas, ou até mesmo inexequíveis devido aos protocolos de comunicação com o Rádio Multifuncional GRC - 525. Como tal, serão apresentadas primeiramente as tecnologias do lado do servidor e, de seguida, as tecnologias do lado do cliente.

3.5.1. Tecnologia do lado do servidor (*Back-end*)

No que toca ao lado do servidor, este refere-se às operações que são realizadas pelo servidor numa ligação cliente-servidor e necessárias para dar resposta aos pedidos feitos pelo cliente [28]. Assim, utilizaram-se as seguintes tecnologias: *Microsoft SQL Server*, *ASP.NET Core*, *Asterisk REST Interface (ARI)* e *Sockets TCP* para executar as operações necessárias. Desta forma, irá proceder-se a uma análise destas tecnologias para compreensão das vantagens conferidas com a sua utilização.

Microsoft SQL Server

O Microsoft SQL Server, é um sistema de gestão de dados desenvolvido pela Microsoft, compatível com Windows e Linux, cuja função principal consiste no armazenamento de informação. Na sua arquitetura, conta com o protocolo TDS (*Tabular Data Stream*), presente na camada de aplicação do modelo OSI, que permite a transferência de dados entre um servidor de base de dados e um cliente em tempo real, utilizando também como protocolo de transporte o TCP, conferindo-lhe mecanismos de segurança da informação [29].

O Sistema de Controlo e Gestão utiliza o *Microsoft SQL Server*, na medida em que este permite a criação de tabelas de variados tipos de dados. Assim o Módulo de Gestor de Utilizadores pode registar todos os utilizadores que têm acesso ao Sistema, uma vez que a informação gerada no Sistema é atualizada automaticamente na Base de Dados do Servidor SQL. O Módulo de Controlo da Comunicação guarda em tempo real os detalhes das chamadas efetuadas. Ao nível do Módulo de Controlo dos Rádios, também este servidor tem alguma importância, visto que também é criada uma tabela para as redes rádios, guardando informação crucial para o sucesso da missão.

ASP.NET Core - Web Application

A plataforma ASP.NET Core reúne inúmeros recursos vantajosos à criação de vários tipos de projetos de programação. É uma *framework open-source* disponível para *Windows*, *Linux* e *MacOS*, que simplifica a tarefa de desenvolvimento de serviços *web*, usando distintas tecnologias, como *Java*, *C#* e *HTML (Hyper Text Markup Language)*, entre outras... tornando-se assim uma plataforma bastante flexível a nível da programação e facilitando a interação com o Rádio Multifuncional GRC – 525. Esta *framework* é compatível com alguns *softwares*, como o *Visual Studio*, tendo este sido o *software* utilizado como ambiente de desenvolvimento (IDE) do Sistema. O *Visual Studio* dispõe também de uma fácil integração de diversas *frameworks* do lado do cliente na ligação cliente-servidor como o *Bootstrap* e *AngularJS* [30].

Para o presente Sistema de Controlo e Gestão, optou-se pelo projeto de aplicação *Web*, uma vez que o objetivo é o desenvolvimento de um sistema distribuído e que seja compatível com diferentes

plataformas e *hardwares*, sendo esta uma grande vantagem quando se desenvolve uma aplicação que utiliza tecnologias *web* que são executadas em *browser*. Outra grande vantagem decorre da necessidade de recursos utilizados no *hardware* que têm ao seu dispor, no que toca a requisitos de processamento e de armazenamento uma vez que estes recursos estão disponíveis na rede local (LAN).

Asterisk REST Interface

A ARI (Asterisk *REST Interface*) é uma API (*Application Programming Interface*) assíncrona desenvolvida pelos criadores do Asterisk, com o intuito de permitir aos *software developers* criar as suas próprias aplicações de comunicação, expondo informação proveniente do Asterisk como as *bridges*, os terminais, os canais de comunicação, entre outros... O estado desta informação é controlado pelo utilizador e é transportada em eventos JSON sobre *WebSockets* [31].

O Asterisk, para além desta interface, disponibiliza também a AGI (Asterisk *gateway Interface*), responsável por providenciar uma interface entre o *Dialplan* do Asterisk e um programa externo, que pretenda executar alterações num canal de comunicações deste *Dialplan* [32]. Conta ainda com a AMI (Asterisk *Manager Interface*), cuja função é gerar um mecanismo de controlo de forma a obter informação sobre o estado dos canais de comunicação [33]. A ARI serve como ponte entre estas duas interfaces como se pode ver na figura 3.4.

Uma vez que a ARI consiste numa API REST, o Sistema envia pedidos à ARI, nos quais constam uma lista de parâmetros, parâmetros estes que variam consoante o tipo pedido. Assim que o pedido é efetuado, a ARI transmite o pedido ao Asterisk que faz o seu processamento e produz uma resposta, pela qual a ARI é responsável por conduzi-la até ao Sistema.

Através da ARI é possível o Sistema ter a informação sobre quais os utilizadores que se encontram registados no Asterisk, bem como verificar se estes se encontram em algum canal de comunicação. Todos estes processos são efetuados através da troca de pedidos entre o Sistema e a ARI. Sendo desta forma efetuado o controlo dos telefones atribuídos aos utilizadores que se encontram no PC.

A ARI é também responsável pelo estabelecimento de chamadas, neste caso, a informação que o Sistema de Gestão transmite à API está relacionada com a identificação dos intervenientes e com o tipo de pedido, por exemplo: para o caso da criação de chamadas, o método utilizado é o POST [34].

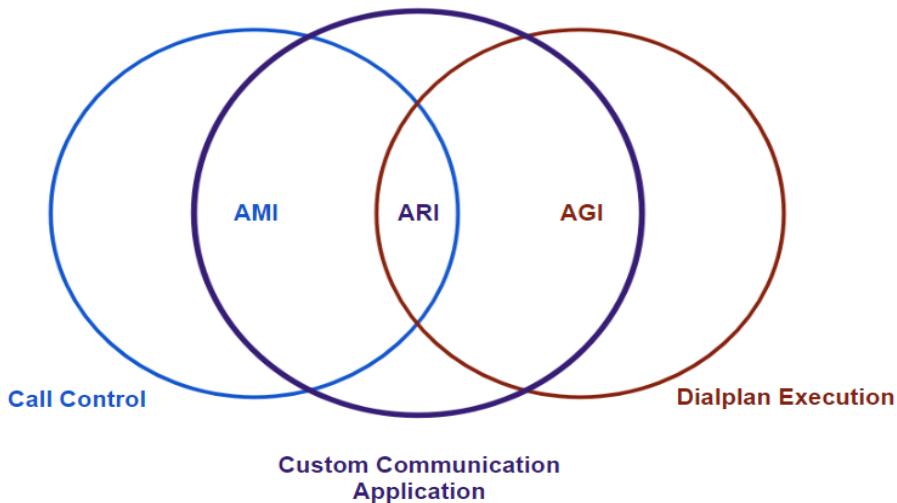


Figura 3.4 - Interligação entre as três interfaces do Asterisk [31]

Socket TCP/IP

Para que uma ligação entre um cliente e um servidor seja única e segura, é necessário definir quatro parâmetros: o endereço IP do receptor, o endereço IP do destinatário, o porto do receptor e o porto do destinatário. A combinação de um endereço IP e de um porto pertencente à camada de transporte é designado de *Socket* [27].

Um par de *Sockets*, consiste no endereço IP da fonte e do destinatário e nos números dos portos, permitindo identificar uma ligação única entre duas entidades. Diferentes ligações podem utilizar o mesmo porto de destino para um dado servidor, contudo têm obrigatoriamente de ter um endereço IP e um porto de receção diferente [27].

O facto do *Socket* ser TCP, está relacionado com o tipo de protocolo de transporte utilizado, garantido uma ligação segura e fiável entre duas entidades, verificando se existem erros na transmissão ou perda de dados; por outro lado, também existem *Sockets* UDP, utilizados em aplicações que não necessitam das características apresentadas anteriormente, mas sim de rapidez no envio dos dados, não tolerando atrasos [35].

Para efetuar a ligação entre o Sistema de Controlo e Gestão e os Rádios Multifuncionais GRC – 525 presentes no PAR, são utilizados TCP *Sockets*, como se pode observar na figura 3.5, e somente após o estabelecimento desta ligação são efetuados determinados processos, nomeadamente: entrada em controlo remoto, leitura e envio de SDM's, entre outros.

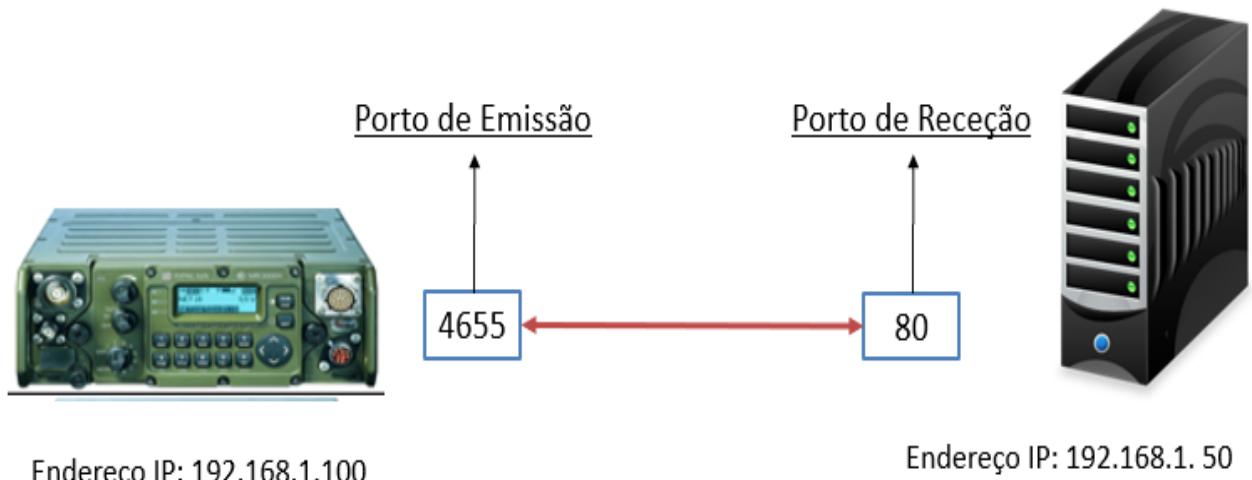


Figura 3.5 - Ligação através de Sockets TCP entre o servidor e o Rádio Multifuncional GRC – 525

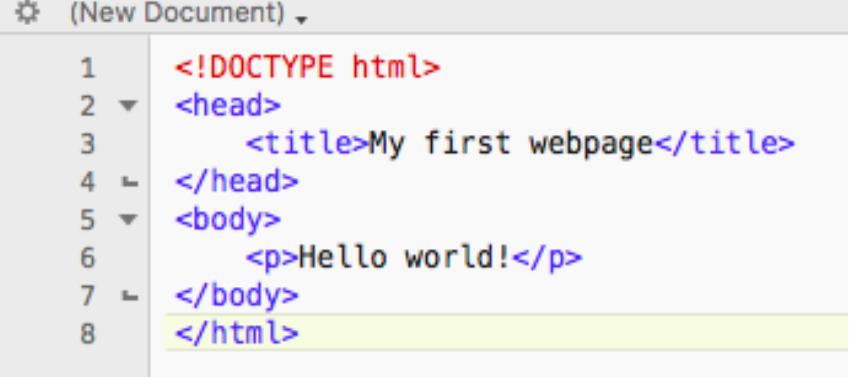
3.5.2. Tecnologia do lado do cliente (Front-End)

Relativamente ao lado do cliente, este diz respeito às operações que são realizadas pelo cliente numa ligação cliente-servidor [36]. Deste modo, é essencial compreender quais as tecnologias que podem auxiliar na execução destas mesmas operações e que vantagens daí advêm. Analogamente à secção anterior, irá ser apresentada uma pequena abordagem das tecnologias presentes no Sistema, entre estas destacam-se: HTML, CSS (*Cascading Style Sheets*), AJAX (*Asynchronous JavaScript and XML*).

HTML

O HTML foi criado em 1993 e, até aos dias de hoje, foram surgindo diversas versões, sendo a atual a HTML 5, desenvolvida pela W3C (*World Wide Web Consortium*), organização esta responsável pela sua padronização. Esta é uma linguagem de programação focada em *tags*, de fácil compreensão. O HTML surge com a intenção de executar a formatação dos conteúdos presentes nas páginas Web. Para tal, são definidos elementos limitados por duas *tags* (a inicial e a final), de forma a identificar o seu conteúdo, sendo envolvidas por parênteses angulares (“<” e “>”); para o caso da *tag* final, esta é marcada pela introdução do caractere “/”.

O conjunto de todos os elementos HTML formam uma página HTML com a possibilidade de ser observada através de um *browser*, mas sem as *tags*, contudo usando-as para apresentar o conteúdo das páginas. Na figura 3.6, é possível visualizar um simples documento HTML constituído por um cabeçalho (*head*), por um corpo (*body*) e por *tags* de identificação.



```
<!DOCTYPE html>
<head>
    <title>My first webpage</title>
</head>
<body>
    <p>Hello world!</p>
</body>
</html>
```

Figura 3.6 - Estrutura de um documento HTML [37]

As *tags* HTML executam variados tipos de tarefas, designadamente, criação de listas, formulários e tabelas, introdução de vários tipos de *inputs*, definição de menus, utilização de diversos estilos, delimitação da página, entre outras.

CSS

O CSS é uma linguagem de programação criada para estilizar o conteúdo das páginas, à semelhança do HTML, também é padronizada pela W3C, encontrando-se atualmente na versão CSS2.1. No entanto a versão CSS3 já está a ser testada para futura implementação [38].

Como foi mencionado acima, o HTML foca-se na formatação do conteúdo da página, enquanto que o CSS foca-se no estilo da apresentação do conteúdo. Como tal, as suas principais funcionalidades são: alteração de cor, de *layouts* e de fontes, definição do tamanho e espaçamento do seu conteúdo, permitindo também adicionar animações interativas e outros elementos decorativos [38].

AJAX

O AJAX é uma tecnologia que permite tornar as aplicações mais dinâmicas e interativas, na medida em que dá a funcionalidade às aplicações de trabalharem de forma assíncrona. Esta característica revela-se de extrema importância, uma vez que é possível atualizar campos de uma página Web, sem existir a necessidade de recarregar totalmente a página. Deste modo, a aplicação está ativa enquanto os dados são transferidos, o mesmo não se verifica no que respeita às páginas que não implementam esta solução [39].

Esta linguagem de programação é baseada em *JavaScript*, como o nome indica, em CSS, XML, HTML e DOM (*Document Object Model*) [39].

As grandes vantagens da implementação do AJAX, são evidenciadas em aplicações com menus de várias opções que requerem interatividade em tempo real, como é o caso de validação de formulários e de atualização de novos conteúdos em tempo real. Para além destes casos verifica-se que também está presente nas páginas Web onde são efetuadas votações ou classificação de conteúdo, como por exemplo quando se efetua a classificação de um filme, sendo apenas necessário atualizar esse campo sem que seja preciso atualizar toda a página [40].

Como é possível observar na figura 3.7, o servidor responde a comandos que contêm URL's (*Uniform Resource Locator*) e a cabeçalhos que contêm meta-information do pedido e da resposta. No final do pedido, a ligação é fechada. O ciclo de vida de uma aplicação AJAX varia, visto que a página está dividida em vários segmentos e cada um deles pode originar uma nova ligação e fazer um pedido ao servidor de forma independente [40].

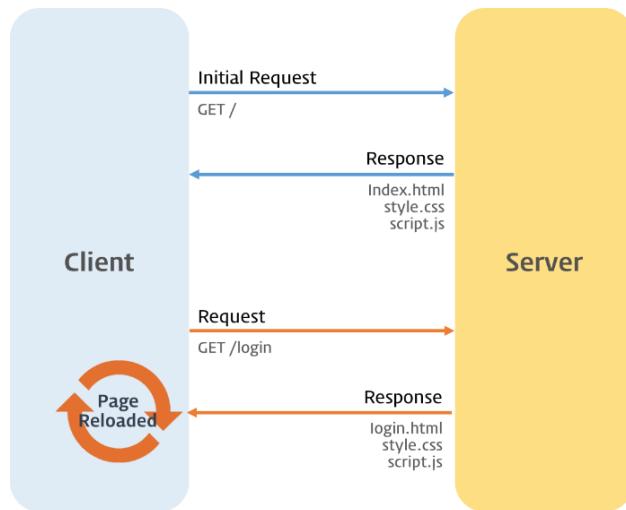


Figura 3.7 – Ciclo de vida de uma aplicação AJAX [41]

3.6. Fluxos de Execução

Por forma a compreender e simplificar todo o processo que decorre desde o login do utilizador até ao estabelecimento de uma chamada, através do Sistema de Controlo e Gestão, foram criados dois fluxos de execução, apresentados na figura 3.8 e na figura 3.9, onde, primeiramente, é apresentado o estabelecimento de uma chamada para uma rede rádio, ou seja, o utilizador no PC comunica em *broadcast* para todas as entidades presentes na rede a que se destina e, de seguida, é apresentado o caso específico em que o utilizador quer efetuar uma chamada privada com uma entidade em concreto presente numa rede rádio. De referir que ambos os processos são executados através da aplicação.

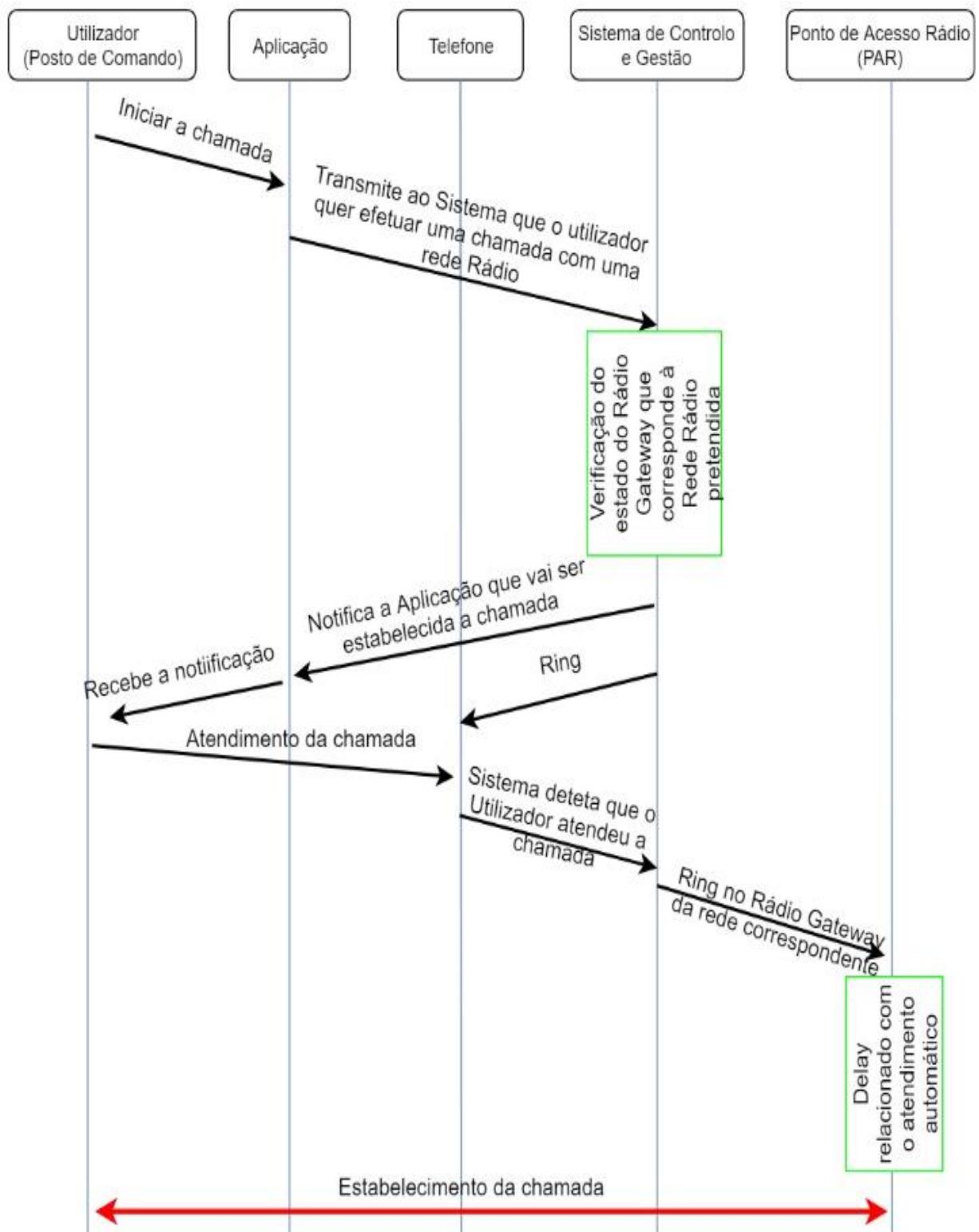


Figura 3.8 - Estabelecimento de uma chamada entre um utilizador do posto de comando e uma rede rádio

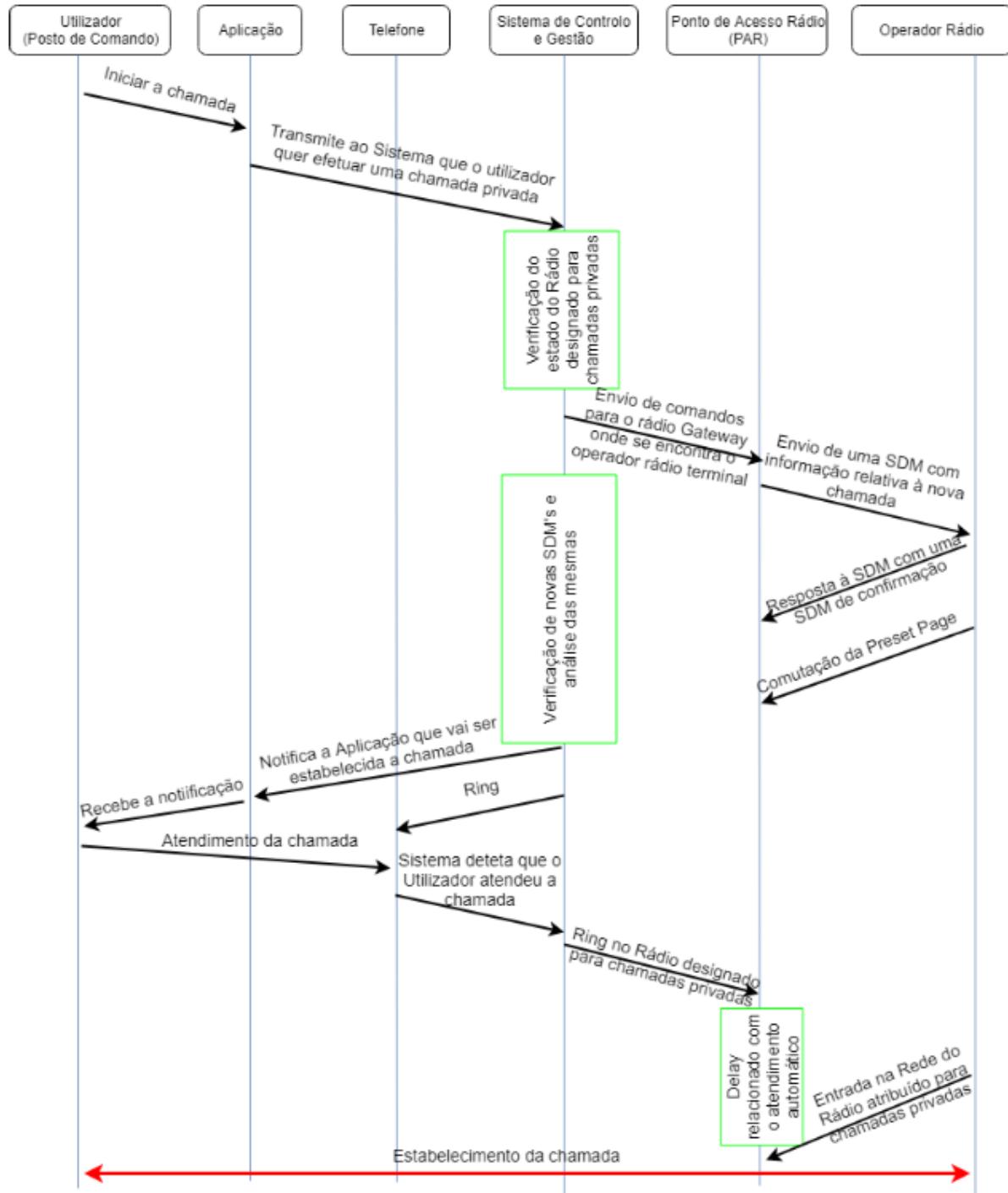


Figura 3.9 - Estabelecimento de uma chamada entre um utilizador do posto de comando e um operador rádio

Para ambas as situações, foi tido em conta que o utilizador já se encontrava autenticado na aplicação. Na primeira situação, as redes rádios estavam disponíveis para efetuar chamadas. Na segunda situação, o Rádio atribuído para chamadas privadas também estava disponível; para além disso, considera-se que o operador rádio quer aceitar a chamada vinda do utilizador no PC, ou seja, quando recebe a SDM, vinda do gateway, a informar que tem uma chamada pendente, a resposta a esta SDM é afirmativa.

Por forma a permitir uma melhor compreensão de alguns procedimentos realizados ao longo dos fluxos de execução apresentados anteriormente, vão ser abordadas com mais detalhes os

seguintes processos: seleção do destinatário final da chamada, verificação do estado de ocupação dos rádios *gateways*, envio e leitura de SDM's, estabelecimento de canais de comunicação.

3.6.1. Seleção do Destinatário Final da Chamada

Após a autenticação do utilizador, este encontra-se na página inicial da aplicação *web* com as condições necessárias para iniciar uma chamada, independentemente de quem seja destinatário final, isto é, efetuar uma chamada para uma rede rádio ou uma entidade específica do TO. O presente Sistema apresenta todas as entidades equipadas com o Rádio Multifuncional GRC – 525 para uma determinada missão, garantido ao utilizador uma maior seletividade e possibilidade de escolha.

Os dados da autenticação do utilizador são confrontados com os dados introduzidos na base de dados; caso a autenticação se comprove, é-lhe atribuída automaticamente uma extensão telefónica configurada previamente pelos administradores. Uma vez que os rádios *gateways* presentes no PAR, e os telefones utilizados no PC se encontram registados no Asterisk, é possível estabelecer a ligação VoIP entre ambos, quando marcadas as extensões definidas nesta plataforma.

Deste modo, não há a necessidade de o utilizador ter conhecimento das extensões das redes ou dos operadores rádio, uma vez que se encontram guardados no Sistema e este apresenta a capacidade de aceder à base de dados em tempo real.

3.6.2. Verificação do Estado de Ocupação dos Rádios Gateway

O primeiro passo, depois do utilizador selecionar o destinatário final, prende-se com o facto de serem averiguados se os requisitos para o estabelecimento da chamada são cumpridos, como tal, o Sistema verifica o estado de ocupação dos rádios, de modo a compreender se estes se encontram disponíveis para estabelecer uma comunicação. Com este objetivo, o Sistema envia comandos específicos para os rádios *gateways* intervenientes, os quais são respondidos e interpretados automaticamente. Consoante a informação contida na resposta por parte dos rádios *gateways*, o Sistema notifica o utilizador em relação ao estado de ocupação dos mesmos.

Caso se verifique que os rádios se encontram disponíveis para efetuar a chamada, é iniciado o processo de estabelecimento da mesma. Se o utilizador pretender falar para todos os participantes de uma rede, o Sistema faz a ligação para o rádio gateway da mesma; No entanto, numa situação em que o utilizador pretende entrar em contacto com uma entidade específica é iniciado o procedimento de envio e leitura de SDM's que será abordado na secção seguinte.

3.6.3. Envio e leitura de SDM's

Analogamente à secção anterior, o procedimento de envio de SDM's é efetuado pelo rádio *gateway* correspondente à rede rádio onde se insere o operador rádio destino. Este processo é controlado pelo Sistema de Controlo e Gestão e está dividido em dois momentos: primeiramente, o Sistema verifica quais são os rádios designados para as chamadas privadas. Contudo não faz a verificação se aqueles se encontram livres, porque foi efetuada anteriormente. Numa segunda fase, através do controlo remoto do rádio *gateway* da rede, em que está presente a entidade a contactar

(operador rádio), é enviada uma mensagem para o rádio de destino mencionando a existência de uma chamada pendente e qual a *preset page* para a qual a entidade deve comutar, de forma a poder atender a chamada.

Quando o Rádio Multifuncional GRC – 525 da entidade a contactar (operador rádio) sinaliza a chegada da SDM, essa entidade procede à sua leitura e responde para o rádio *gateway* da rede em que se encontra atualmente com uma nova SDM demonstrando a sua intenção, isto é, se pretende atender a chamada ou se naquele momento não se encontra disponível para tal.

Durante o intervalo de tempo entre a emissão da SDM para a entidade a contactar (operador rádio) e a chegada da mensagem com a resposta do mesmo, o rádio *gateway* encontra-se a correr, de forma permanente, um ciclo de verificação de novas mensagens.

3.6.4. Estabelecimento de Canais de Comunicação

A presente secção surge no seguimento da anterior. Após o Sistema de Controlo e Gestão detetar a nova SDM no rádio *gateway*, interpreta-a e, em caso da resposta ser afirmativa inicia o processo de estabelecimento de uma nova chamada entre o utilizador do PC e o novo rádio *gateway*, este designado para chamadas privadas. Deste modo, primeiramente, é efetuada a criação da primeira chamada do Sistema para o posto de comando (estabelecimento do primeiro canal). Assim que a entidade presente no PC atender a chamada, o Sistema efetua, de seguida, o estabelecimento do segundo canal ao realizar a chamada para o novo rádio *gateway* atribuído para chamadas privadas e onde já se encontra inserido na rede o operador rádio após a comutação de *preset page*.

Quando os dois canais forem assegurados, o Sistema encarrega-se de criar uma *bridge*, por forma a interligar ambos, possibilitando a comunicação entre as duas entidades. Por outro lado, também existe a possibilidade do operador rádio não se encontrar disponível naquele momento para atender a chamada, se esta situação se verificar, após o Sistema interpretar a sua SDM como negativa, o utilizador do posto de comando é imediatamente notificado relativamente à indisponibilidade do destinatário final.

4. Avaliação e Discussão dos Resultados

No subcapítulo 3.1 é apresentada a descrição dos requisitos a ter em conta na implementação da solução proposta. Deste modo, desenvolveu-se o Sistema de Controlo e Gestão para dar resposta aos requisitos impostos anteriormente. No decorrer do seu progresso, houve um conjunto de parâmetros e restrições, entre estes destacam-se o tipo e o número de comandos que o Rádio Multifuncional GRC - 525 tem capacidade de interpretar por forma a desempenhar determinadas tarefas impostas pelo Sistema.

Este capítulo procura determinar se as características e funcionalidades apresentadas pelo sistema desenvolvido cumprem com os requisitos definidos no início do terceiro capítulo. Para além disso, são ainda descritos os testes de campo executados no exercício militar, no qual se contou com a participação dos alunos da Academia Militar, e é apresentada a opinião de alguns Oficiais e Sargentos do Exército Português com um vasto conhecimento da área em questão.

Por fim, é apresentada a discussão dos resultados obtidos a partir de todos os testes e inquéritos a que o Sistema de Controlo e Gestão foi submetido, de modo apurar se este se revelou como uma ferramenta útil para o Exército Português.

4.1. Segurança

No que concerne à segurança do sistema desenvolvido, a sua validação passa por assegurar os requisitos de segurança impostos na secção 3.1.1.

RS1 - Comunicação rádio SECOM

A configuração de todos os rádios utilizados nas missões implementadas no Sistema de Controlo e Gestão encontram-se no modo SECOM-V/U, para o caso de operar na banda VHF/UHF, ou SECOM-H, caso se encontrem configurados na banda HF, consoante a banda de frequência para que estão programados para operar, permitindo assim a comunicação segura e salto de frequência.

Este modo de configuração garante a confidencialidade nas comunicações, através da funcionalidade do Rádio Multifuncional GRC – 525 da utilização de criptografia.

RS2 - Autenticação na aplicação

Para que os utilizadores consigam ter acesso ao sistema, necessitam previamente de se autenticar; para o fazer, devem preencher os campos do *login*: *Email* e *Password*, como é possível observar na figura 4.1. Para além deste método, é também possível integrar o Sistema com outros mecanismos de autenticação, como por exemplo, *Lightweight Directory Access Protocol* (LDAP), ou sistemas de autenticação centralizada.

Os administradores do Sistema são responsáveis por atribuir as credenciais aos utilizadores com acesso à aplicação. Assim que autenticados, os utilizadores já têm a capacidade de realizar chamadas para as redes rádio ou chamadas privadas para operadores rádio específicos.

Log in

Use a local account to log in.

Email

Password

Remember me?

Forgot your password?

Register as a new user

There are no external authentication services configured. See [this article](#) for details on setting up this ASP.NET application to support logging in via external services.

Figura 4.1 - Mecanismo de autenticação da aplicação

RS3 - Níveis de Acesso à informação

Relativamente ao nível de acesso, o Sistema de Controlo e Gestão, como foi explicado no subcapítulo 3.2., divide o grupo de utilizadores em duas categorias, operadores e administradores, tendo cada um deles níveis de acesso distintos às funcionalidades do Sistema. Entre as funcionalidades, é possível observar na figura 4.2, o que acontece quando um operador, neste caso o Comandante de Companhia, tenta aceder a uma funcionalidade para a qual não tem permissão, para o efeito, mais especificamente, quando tenta aceder ao histórico de atividade.

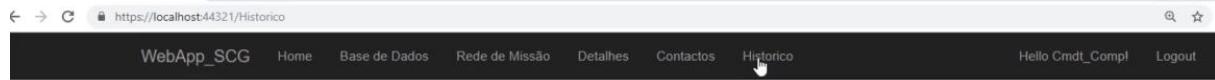


Figura 4.2 - Captura de ecrã na aplicação quando um utilizador tenta aceder a interfaces a que não tem acesso

Para além dos utilizadores não terem acesso ao tipo de informação abordado na figura 4.2, estes também não têm acesso às extensões das redes rádios e dos seus participantes, uma vez que estes são configurados e guardados no Sistema, não sendo necessário ao utilizador ter conhecimento dos mesmos para efetuar chamadas.

Como o Sistema tem a capacidade de suportar várias missões concorrentes, é também possível implementar um mecanismo de controlo de acesso ao nível das missões, isto é, a possibilidade de delimitar a comunicação entre os utilizadores e operadores rádios que estejam associados ou tenham competência sobre a mesma missão.

RS4 - Integridade da informação do sistema

Este requisito, está não só diretamente ligado com o Sistema em si, mas também com os rádios que podem afetar o correto funcionamento do mesmo. Relativamente ao serviço fornecido pelo rádio, a integridade pode depender da distância entre os rádios que se encontram no PAR e os operadores de rádio que se encontram no TO. Contudo o facto de o PAR ser um módulo móvel permite aproximar-

se dos operadores rádio em caso de necessidade, contribuindo de forma positiva para garantir a integridade da informação.

A escolha das frequências também pode ter alguma influência na integridade das comunicações, sendo, portanto, um fator importante a ter em conta na atribuição das frequências rádio para cada rede rádio, evitando interferências radioelétricas.

RS5 - O sistema deverá estar assente no protocolo HTTPS

O Sistema de Controlo e Gestão corre sobre o protocolo HTTPS, garantindo que os dados sejam transmitidos por meio de uma ligação criptografada e que verifique a autenticidade do servidor e do cliente através de certificados digitais. Para os testes de campo, o Sistema não estava integrado na rede de Dados do SIC-T, correndo numa rede específica para testes. No entanto, está previsto que seja inserido na rede, de forma a colocar-se outra camada de segurança assegurada por essa rede.

4.2. Funcionalidades

Relativamente às funcionalidades de que o Sistema dispõe, pretende-se que estas correspondam às exigências impostas pelos requisitos apresentados no subcapítulo 3.1. Para tal, vão ser analisadas detalhadamente de forma a verificar-se o seu cumprimento dos mesmos.

RF1 - Utilização de Telefone VoIP como meio de Comunicação

O Sistema de Controlo e Gestão tem a capacidade de integrar a rede telefónica com a rede rádio, sendo possível estabelecer a ligação VoIP entre os rádios gateways presentes no PAR e os telefones disponíveis no PC; além da integração, a configuração do Sistema introduz o protocolo PTT nos telefones. Assim, como é apresentado nos requisitos, reduz-se a quantidade de rádios instalados no posto de comando, mantendo o nível de segurança. No entanto continuam a ser precisos rádios, na eventualidade de surgir a necessidade de se escutar as comunicações de uma rede em tempo real. Na figura 4.3, é possível observar a utilização do telefone VoIP no estabelecimento de chamadas através do Sistema de Controlo e Gestão.



Figura 4.3 - Utilizador no posto de comando a realizar uma chamada por telefone através da aplicação

RF2 - Grande distância de comunicação

Este requisito verifica-se, uma vez que os rádios presentes no PAR são integrados na rede do SIC-T, tornando possível realizar comunicações a longas distâncias entre os operadores do sistema no posto de comando e os utilizadores rádio no TO. Com este sistema, é também possível efetuar chamadas de por exemplo de território nacional para um dado TO, se o utilizador que pretenda efetuar a chamada estiver integrado na rede de dados do Exército e registado no PBX do Sistema ou registado num PBX do Exército onde é possível realizar uma tronca SIP.

RF3 - Criação de um registo de eventos

Uma das grandes funcionalidades que é proporcionada com o desenvolvimento da aplicação é o surgimento de um mecanismo que permite registar todos os eventos que sejam realizados através da mesma. Deste modo, todas as mensagens, chamadas e *logins/logout*s são registados na aplicação, sendo o acesso a esta funcionalidade apenas permitido aos administradores, fornecendo-lhes o conhecimento de todo o tráfego que ocorreu para uma dada missão onde se utilize o Sistema.

RF4 - Efetuar chamadas privadas

O presente Sistema de Controlo e Gestão introduz outra novidade que até aos dias de hoje não era possível realizar através do PAR, o facto de ter sido criado um mecanismo que permita efetuar chamadas privadas entre uma entidade no PC e um operador rádio que esteja inserido numa rede rádio.

O presente Sistema disponibiliza duas opções no que toca ao tipo de chamada: chamadas para uma dada rede rádio, escutando todas as comunicações que decorrerem nesse período de tempo e oferecendo a possibilidade de efetuar a transmissão de mensagens em *broadcast*, como é possível observar na figura 4.4, e permite também efetuar chamadas para uma entidade específica presente numa dada rede rádio, visível na figura 4.5.

ID	Chamada	Endereço IP
Rede_1_Pel	Call	194.210.157.11
Radio_Voz	Call	194.210.157.21
Rede_2_Pel	Call	194.210.157.31
Rede_3_Pel	Offline	194.210.157.41

Figura 4.4 - Acesso à lista de redes rádios disponíveis através da aplicação

ID	Chamada
Cmdt_1_Pel	<input type="button" value="Chamada"/>
Cmdt_1_Sec	<input type="button" value="Chamada"/>
Cmdt_2_Sec	<input type="button" value="Chamada"/>
Cmdt_3_Sec	<input type="button" value="Chamada"/>

©Sistema de Controlo e Gestão

Figura 4.5 - Acesso à lista de participantes de uma rede rádio através da aplicação

RF5 - Forma rápida e interativa de estabelecer uma comunicação

Os operadores da aplicação conseguem de forma rápida e interativa visualizar todas as redes que se encontram em operação e todos os elementos das mesmas, o que lhes permite estabelecer uma chamada com estes utilizadores, caso o pretendam, sem que tenham a necessidade de saber a extensão da mesma como é mencionado no RS3. Este indicativo varia consoante a missão (necessitando apenas da alteração dos dados no Sistema).

Se alguma rede rádio, ou os rádios designados para chamadas privadas, estiverem ocupados no momento em que estes pretendam efetuar uma chamada, o Sistema notifica também os utilizadores relativamente à indisponibilidade dos mesmos, não permitindo que seja efetuada a chamada.

RF6 - Não existir intervenção humana no PAR

O Sistema foi desenvolvido tirando partido de inúmeras funcionalidades que o Rádio Multifuncional GRC – 525 disponibiliza; destacando-se o controlo remoto, efetuado a partir de uma ligação realizada através de Sockets TCP, quando este está integrado na rede IP.

Assim que a ligação é estabelecida, verifica-se a possibilidade de alterar e ter acesso a um vasto leque de informações presentes no rádio, assegurando ao Sistema a possibilidade de verificar os participantes presentes na rede rádio, verificação de mensagens recebidas, envio de SDM's, entre outras capacidades, sem que seja necessária a intervenção de recursos humanos, uma vez que o Sistema automatiza todos estes processos.

4.3. Interoperabilidade

Uma das maiores dificuldades na implementação do Sistema é a interligação entre todas as diferentes tecnologias que o constituem. Devido a esta contingência, foi necessário verificar se os requisitos de interoperabilidade apresentados na secção 3.1.3. são cumpridos.

RI1 - Integração da rede rádio com a rede IP

Para efetuar a integração citada acima, o Exército Português conta com o ICC-201, que é um equipamento robusto que permite interligar até seis rádios à rede IP. Este dispositivo faz parte do material presente no PAR, e encontra-se diretamente ligado ao Sistema, controlando todo o fluxo de

informação com o destino para os rádios Multifuncionais presentes no PAR e ligados a este. Relativamente a uma vista mais detalhada no que toca ao ICC-201, na secção 2.1.2., é possível encontrar uma visão mais detalhada sobre o ICC-201.

RI2 - Integração da rede rádio com a rede VoIP

O Sistema verifica este requisito, dado que todos os rádios gateway que constituem o Sistema se encontram configurados com o modo VoIP; para além disto, encontram-se também registados no Asterisk – PBX utilizado para o desenvolvimento do Sistema. Estes rádios servem como ponte entre o “mundo” rádio e o “mundo” da telefonia IP. Esta integração permite que um utilizador no PC efetue uma ligação entre o telefone que tem disponível e uma rede rádio.

RI3 - Interação com o Rádio Multifuncional GRC-525 através de uma aplicação web

Após analisadas todas as vantagens que as aplicações Web apresentam nos dias de hoje, vantagens estas também apresentadas na secção 3.5.1, optou-se por desenvolver o sistema assente nos serviços Web, conseguindo-se assim tirar partido destas vantagens e das funcionalidades que o Rádio Multifuncional GRC – 525 oferece, nomeadamente o controlo remoto que já foi abordado anteriormente.

RI4 - Integração do modelo PTT no sistema de telefonia VoIP

Este requisito verifica-se, pois os telefones utilizados seguem o protocolo estabelecido para efetuarem a comunicação, isto é, quando o utilizador quer efetuar uma transmissão, pressiona uma vez na tecla “1” do telefone, simbolizando que o emissor está a pressionar o PTT (emissão), e quando este quer terminar a sua transmissão deve pressiona na tecla “2” do telefone, simbolizando que o utilizador libertou o PTT. Este mecanismo permite aos utilizadores cumprirem a disciplina de comunicações impostas nas comunicações militares.

4.4. Testes de Campo

No período de 9 a 10 de Julho de 2019, durante o terceiro Bloco de Formação Militar (BFM3), da Academia Militar [42], realizaram-se alguns testes com o propósito de verificar se o Sistema desenvolvido tinha capacidade de dar resposta às necessidades de uma missão, verificar a sua facilidade de implementação e se a sua utilização era simples para os utilizadores que se encontravam a operar neste cenário.

O Sistema foi integrado e testado durante o exercício LEÃO 19, que decorreu no Campo Militar de Santa Margarida. Este exercício militar tem como objetivo principal a aprendizagem dos alunos no que toca ao conhecimento do potencial dos meios de que o Exército Português dispõe, bem como o seu emprego em operações militares.

O Exercício LEÃO 19 contou com o apoio fornecido pelo Regimento de Transmissões do Porto e pela Equipa de Apoio em Engenharia para o Projeto SIC-T. O planeamento e a preparação destes testes de campo foi efetuado nas instalações afetas a esta Equipa, tendo sido desenvolvidos os testes iniciais e montagem de todo o Sistema durante os cinco meses anteriores ao Exercício.

Para efetuar os testes, foi necessário reunir um conjunto de material considerado fundamental para a realização dos mesmos:

- 4 Rádios Multifuncionais GRC – 525;

- Antenas VHF, microauscultadores e adaptadores de antena para os respetivos rádios;
- 4 Bases fixas de testes de alimentação 220V com ligação *ethernet*;
- 4 cabos de dados para ligação do rádio ao ICC – 201;
- ICC – 201;
- programador do *Fillgun* com cabo USB de ligação ao PC;
- *Fillgun* e missão para carregar no *Fillgun* (missão de configuração dos rádios).

No exercício, existiam três posições distintas: a primeira era o PC, local onde eram tomadas as decisões e onde se encontravam os utilizadores do Sistema, como se pode observar na figura 4.6.

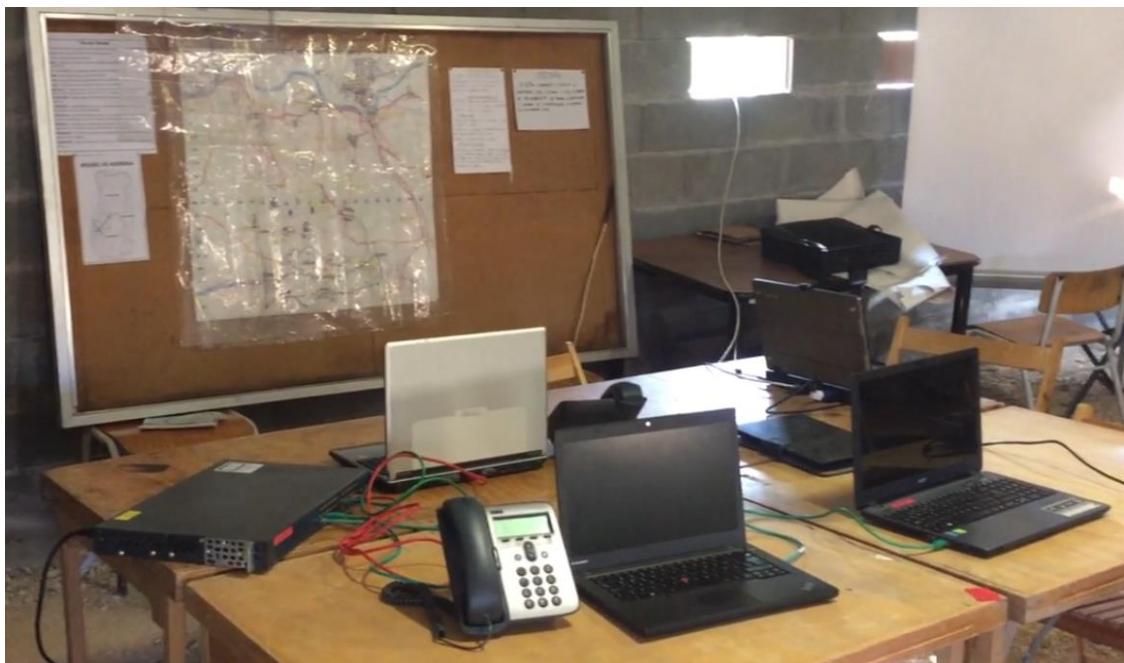


Figura 4.6 - Posto de comando do BFM3

A segunda posição diz respeito ao PAR, materializado pela viatura cedida pelo Regimento de Transmissões, equipada com diversos meios de radiofrequência, responsável por efetuar o estabelecimento da ligação rádio entre o PC e os operadores rádio no TO, como se pode observar na figura 4.7. Esta viatura veio com o intuito de apoiar os militares presentes no exercício, possibilitando a implementação do Sistema desenvolvido.



Figura 4.7 - Ponto de Acesso Rádio (PAR) presente no BFM3

Por fim, na terceira posição, encontram-se os militares que estão no TO a desempenhar as ações planeadas no PC, presente na figura 4.8.



Figura 4.8 - Operador Rádio no teatro de operações do BFM3

Para a primeira fase dos testes, foi necessário configurar-se a Missão para este Exercício, especificamente através do software *Mission Planner*. Este software é utilizado para proceder à introdução de IP's para os rádios, atribuição de frequências, definição de *preset pages*, entre outras configurações. Após todas as configurações estarem terminadas a missão é carregada no *Fillgun*, e posteriormente atualizada em todos os rádios intervenientes na missão.

Quando todos os rádios já se encontravam com a Missão carregada efetuaram-se testes de comunicações para detetar possíveis interferências na comunicação entre os rádios *gateway* e os rádios *endpoints*, assim como a verificação se todo o equipamento rádio estava operacional e em condições para ser efetuada a integração com a rede IP.

Na segunda fase de testes os telefones foram configurados e atribuídos às entidades presentes no PC. Para além disso, foram registados em conjunto com os rádios *gateway* no PBX e na base de dados do Sistema. Após todos estes processos estarem terminados, concluiu-se esta fase com o estabelecimento de chamadas de teste entre um utilizador no posto de comando e um rádio *gateway*, presente no PAR, correspondente a uma rede rádio. Com isto, pretendia-se verificar se era possível estabelecer a chamada entre o utilizador do PC e uma determinada rede rádio através do Sistema. Esta fase foi concluída com sucesso, tendo-se verificado que todos os elementos presentes na rede conseguiram escutar e participar nas comunicações.

A terceira fase iniciou-se quando um utilizador do posto de comando fez a chamada para um militar (operador rádio) no TO, a partir da aplicação. O desenrolar da chamada decorreu de acordo com o esquema apresentado na figura 3.9. No que respeita aos atrasos, o fator que pode contribuir de forma mais significativa para todo este processo é o tempo de resposta do operador rádio à SDM recebida. Contudo, se este estiver familiarizado com o modo de funcionamento do rádio, o estabelecimento da chamada entre estas duas entidades ocorre num curto espaço de tempo, verificando-se que é possível, prático e útil o Sistema de Controlo e Gestão ser implementado em operações militares futuras.

4.5. Comparação entre o Sistema atual e o Sistema desenvolvido

Um dos fatores preponderantes para a implementação do Sistema desenvolvido, é verificar se este é mais eficiente e ágil do que o Sistema de comunicações implementado até à data. Como tal, nesta secção será efetuada uma comparação entre os dois Sistemas, no que toca a efetuar uma chamada privada entre um utilizador no PC e um operador rádio específico inserido no TO.

Para explanar de forma mais elucidativa os dois processos, é possível observar a figura 4.9, na qual são apresentados os dois intervenientes da chamada privada: Utilizador X e o Operador Y, bem como as redes nas quais o Operador Y se vai encontrar, sendo que primeiramente está presente na rede A, e após comutar a PP, passa a ser um participante da rede Z.

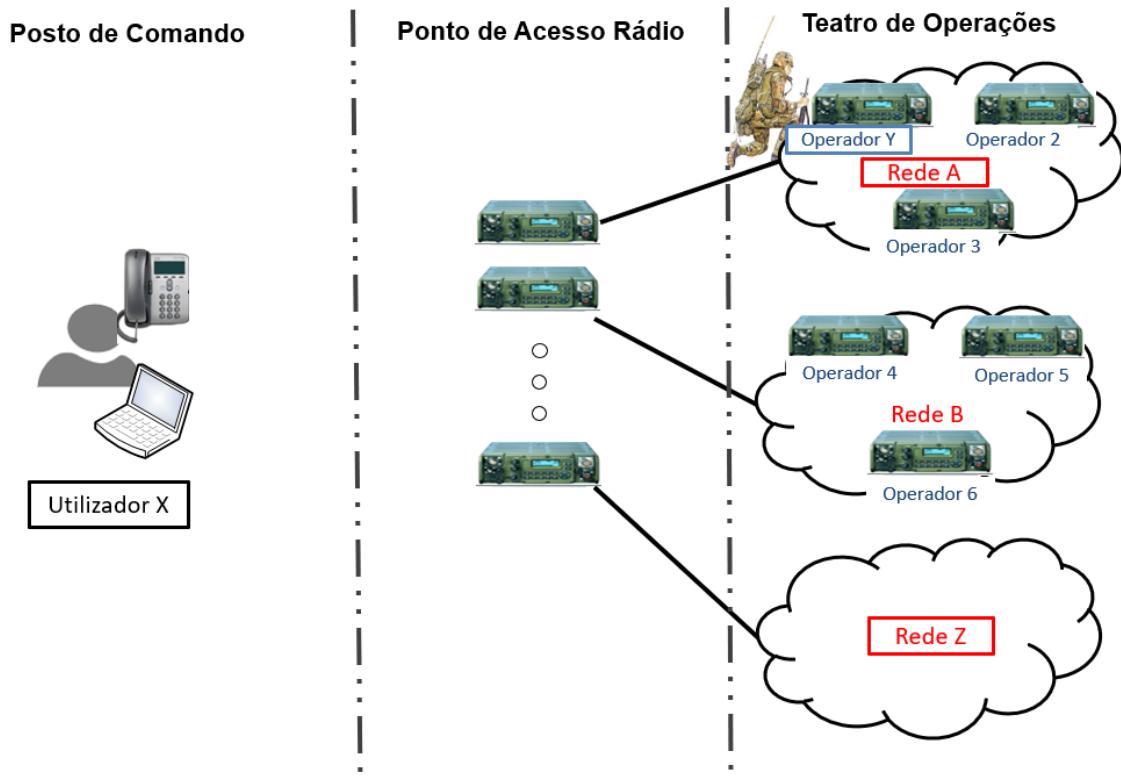


Figura 4.9 – Apresentação dos intervenientes dos casos de estudo, mais concretamente o estabelecimento de uma chamada privada através dos dois Sistemas de Comunicações

De seguida, vão ser abordados os dois casos de estudo relativos ao estabelecimento de uma chamada privada entre o Utilizador X e o Operador Y. Na figura 4.10, é exposto como é que o mesmo processo é descrito através do Sistema atual e do Sistema desenvolvido na presente Dissertação de Mestrado. Para ter um método de comparação, ao nível do tempo que cada um dos Sistemas demora para atingir o objetivo final, foram classificados três tipos de eventos com diferentes durações, sendo estes apresentados numa escala de tempo do mais rápido até ao mais moroso: eventos automáticos, eventos manuais simples e eventos manuais complexos.

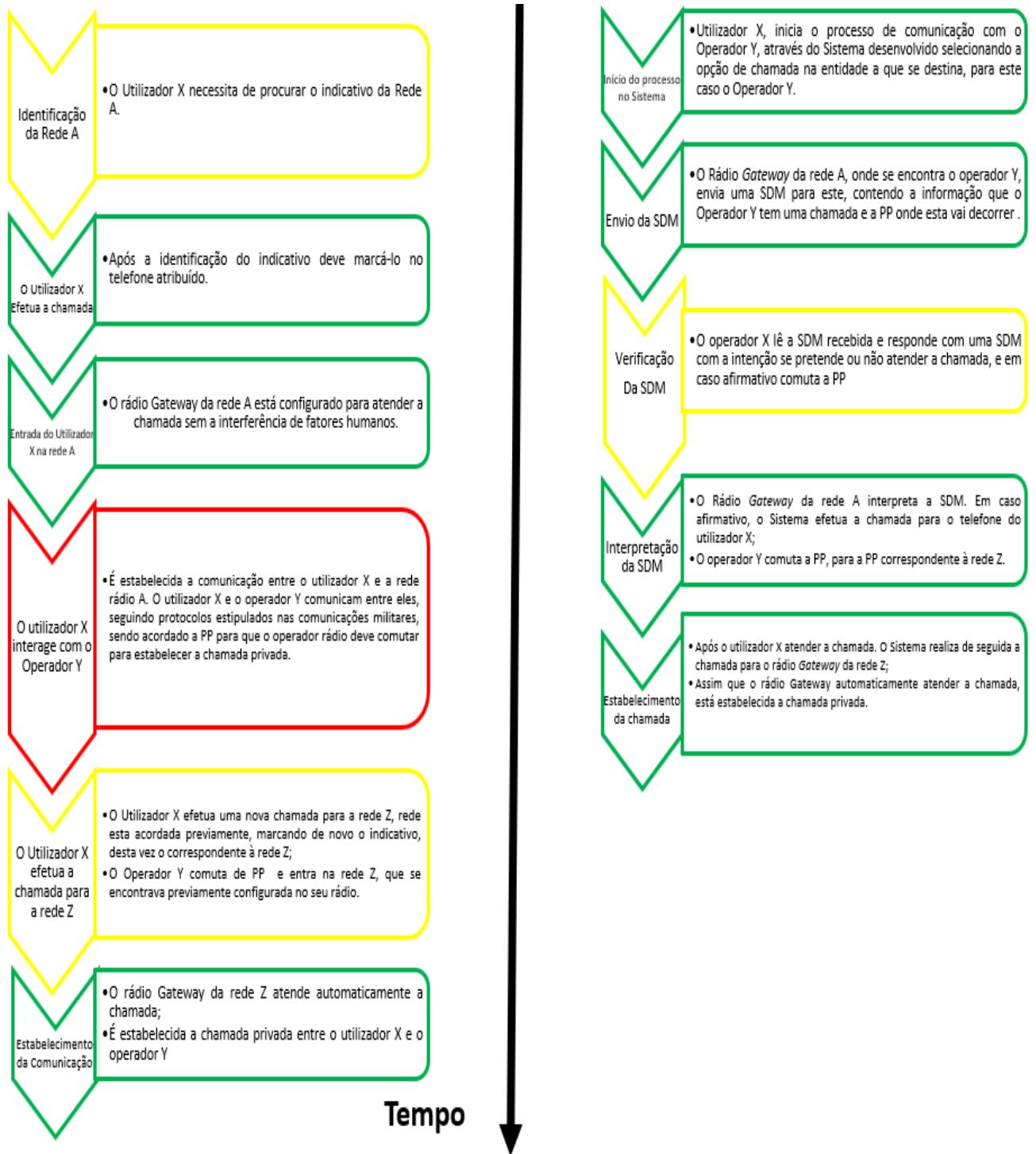


Figura 4.10 – Comparação do tempo de estabelecimento de uma chamada privada através do Sistema atual e do Sistema desenvolvido

Para clarificação da natureza dos eventos que decorrem nos dois Sistemas, foram atribuídas cores consoante a sua classificação. Deste modo, os eventos automáticos encontram-se apresentados a verde, os eventos manuais simples estão representados a amarelo e, por último, os eventos manuais complexos estão indicados a vermelho. De seguida, procede-se a uma explicação alusiva ao modo de classificação dos eventos.

No que respeita aos eventos automáticos, estes dizem respeito aos processos em que não existe intervenção humana e que só estão dependentes da configuração do rádio ou da configuração do Sistema.

Relativamente aos eventos manuais simples, estes estão relacionados com os processos que os intervenientes na chamada executam com facilidade e num curto prazo de tempo, como por exemplo identificar uma extensão da rede, ler uma SDM, etc.

Por fim, os eventos manuais complexos, que se remetem a situações em que o interveniente necessita de praticar diversas ações, desde o início até ao término do processo, envolvendo um longo período de tempo, concretizando: quando o Utilizador X entra em contacto com o Operador Y na rede A, para chegar a um acordo sobre o canal onde vão estabelecer a chamada privada.

Confrontando os dois Sistemas, na figura 4.10, é possível argumentar relativamente a determinados aspetos que serão abordados de seguida: tempo necessário para o estabelecimento da chamada, ocupação da rede rádio A, vantagens da automação de todo o processo e confidencialidade da existência de uma chamada privada.

No que toca ao primeiro aspeto, é possível constatar que o Sistema desenvolvido é constituído por um menor número de processos e na grande maioria deles são processos classificados como automáticos, resultando em períodos de tempo significativamente inferiores, permitindo de forma organizada e estruturada chegar ao resultado final mais rapidamente, utilizando o Sistema desenvolvido na presente Dissertação.

No que concerne à ocupação da rede rádio A, no Sistema atual, o Utilizador X, antes de estabelecer a chamada privada, necessita previamente de estabelecer o contacto com a rede rádio A, impedindo os restantes elementos de comunicarem entre si nesse período de tempo; para além disso, é um processo mais moroso e classificado como evento manual complexo, na medida em que terão de ser respeitados os protocolos de comunicação rádio. A interferência e o ruído são também dois fatores a considerar e que podem estar associados a esta comunicação, a par de não ser possível a outros operadores estabelecerem comunicações enquanto essa comunicação em curso não terminar.

Relativamente à automação de todo o processo, este aspeto constitui-se como uma grande vantagem, uma vez que o Utilizador X apenas tem de fazer o *login* na aplicação *Web* e clicar no operador com que pretende falar, reduzindo também a possibilidade de erro e o tempo de coordenação para a comunicação. Desta forma, todo o processo se torna bastante simples do lado do Utilizador, sem que exista a necessidade de marcar indicativos e estabelecer outras chamadas até originar a chamada privada.

Por fim, no que toca ao aspeto da confidencialidade, o Sistema desenvolvido garante esta funcionalidade, porque os participantes da rede rádio A, não necessitam de saber qual o motivo que levou o Operador X a abandoar a rede, sendo que apenas este tem o conhecimento do motivo.

4.6. Validação e Apresentação do Sistema

O trabalho desenvolvido consistiu na criação e desenvolvimento de um Sistema de Controlo e Gestão de chamadas, tendo como elemento fundamental o Rádio Multifuncional GRC – 525. O Sistema destina-se a todas as categorias de utilizadores, embora cada uma tenha papéis distintos, a nível de

utilizadores do Sistema e operadores rádio. Uma vez que se trata de um trabalho de investigação, averiguou-se a opinião de pessoas especializadas na área. Neste sentido, foram realizadas apresentações na Academia Militar e na Unidade de Apoio do Comando da Logística, unidade onde está instalada a Equipa de Apoio em Engenharia para o Projeto do SIC-T.

Estas apresentações foram realizadas com o intuito de explicar qual a motivação da escolha do tema, os problemas existentes no Exército sobre este assunto, o conceito e esquema da proposta de solução e a demonstração prática das funcionalidades desenvolvidas do sistema de Controlo e Gestão como proposta de solução.

No final de cada apresentação a explicar o âmbito do trabalho desenvolvido, foram apresentados questionários alusivos ao Sistema. No anexo A, são descritas as questões colocadas a cada indivíduo após a apresentação do sistema. As questões apresentadas são essencialmente perguntas do tipo escala variando de 1 a 5, de modo a que o foco seja as funcionalidades do Sistema e que o questionado possa opinar em relação à utilidade das mesmas, permitindo assim verificar de que forma é que o Sistema de Controlo e Gestão se revelou um contributo para o Exército Português.

Foram inquiridos dez militares, dos quais quatro pertencentes à categoria de Sargentos e seis pertencentes à categoria de Oficiais. A generalidade dos elementos já esteve presente em missões ou em exercícios onde as comunicações eram as suas áreas de responsabilidade. Os inquéritos referidos vão ser discutidos e analisados com detalhe de seguida.

No que concerne à primeira parte dos inquéritos, foram averiguados os processos de comunicação atuais quando se pretende comunicar com uma entidade específica no campo de batalha, de modo a verificar se estes são de fácil e ágil utilização, visível na figura 4.11, bem como foram levantadas questões em no que toca à sua eficiência, determinando as limitações correspondentes.

Facilidade e Agilidade da utilização do Processo de Comunicações Atual

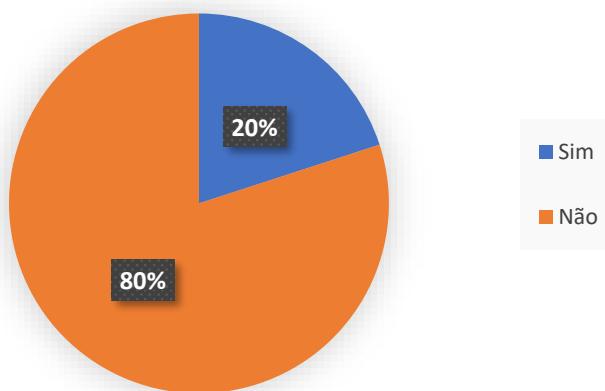


Figura 4.11 -Gráfico com a resposta dos inquiridos relativa à facilidade e agilidade da utilização do processo de comunicações atual

Relativamente à figura 3.16, é possível constatar que a maior parte dos inquiridos respondeu que o processo atual, quando existe a necessidade de falar com um indivíduo em particular no campo de batalha, não é fácil nem ágil, levantando limitações relacionadas com a ocupação de toda a rede, uma vez que a chamada é efetuada em *broadcast* para toda a rede onde este se encontra, impedindo

as restantes entidades da rede de comunicar nesse período, gerando também problemas de confidencialidade e privacidade da chamada.

Foram apontados outros problemas relativos à não existência de um mecanismo que controle o fluxo das chamadas entre o PC e as redes rádio.

Ainda foram apontadas limitações no que diz respeito à não existência de um registo de chamadas entre o posto de comando e os operadores rádio.

A segunda parte das perguntas pertencentes aos questionários têm o seu foco no Sistema desenvolvido, nomeadamente na importância e no contributo que este pode acrescentar ao Exército Português. Os resultados obtidos foram os seguintes apresentados na figura 4.12.

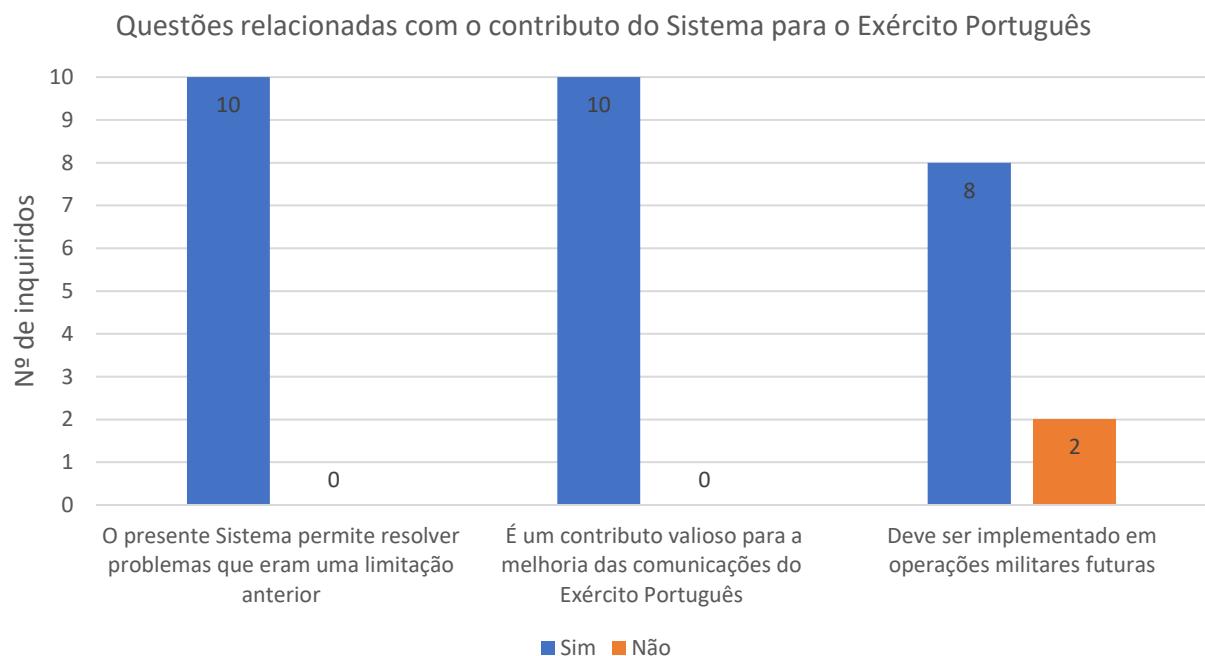


Figura 4.12 - Gráfico com a resposta dos inquiridos relativa ao contributo do Sistema para o Exército Português

As respostas obtidas foram, sem dúvida, muito positivas e unâimes, verificando-se que toda a população inquirida afirmou que o Sistema permite resolver problemas que anteriormente eram uma limitação e que se revelou um contributo valioso para o Exército Português. O mesmo já não se verificou quando se questionou a respeito da implementação em operações militares futuras. Este tópico foi muito discutido na medida em que o Sistema se encontra pronto para ser implementado, contudo seria preferível que fosse aperfeiçoado e que disponibilizasse, para além das suas funcionalidades, outras capacidades que serão propostas no último capítulo relativamente a trabalhos futuros que possam evidenciar ainda mais e enaltecer as vantagens deste Sistema.

No entanto, verificou-se que, assim que implementado, o Exército Português contará com uma ferramenta que irá introduzir muitas mais-valias para os processos de comunicação atuais.

Uma vez que um dos requisitos funcionais se prendia com a interatividade e a facilidade de utilização, questionou-se também os inquiridos sobre a sua opinião acerca deste aspeto, relativamente ao presente Sistema, após a demonstração das suas funcionalidades, a resposta a esta questão encontra-se no formato de escala sendo que varia entre 1 que corresponde a "muito difícil" e 5 que corresponde a "muito fácil". As respostas são apresentadas na figura 4.13.

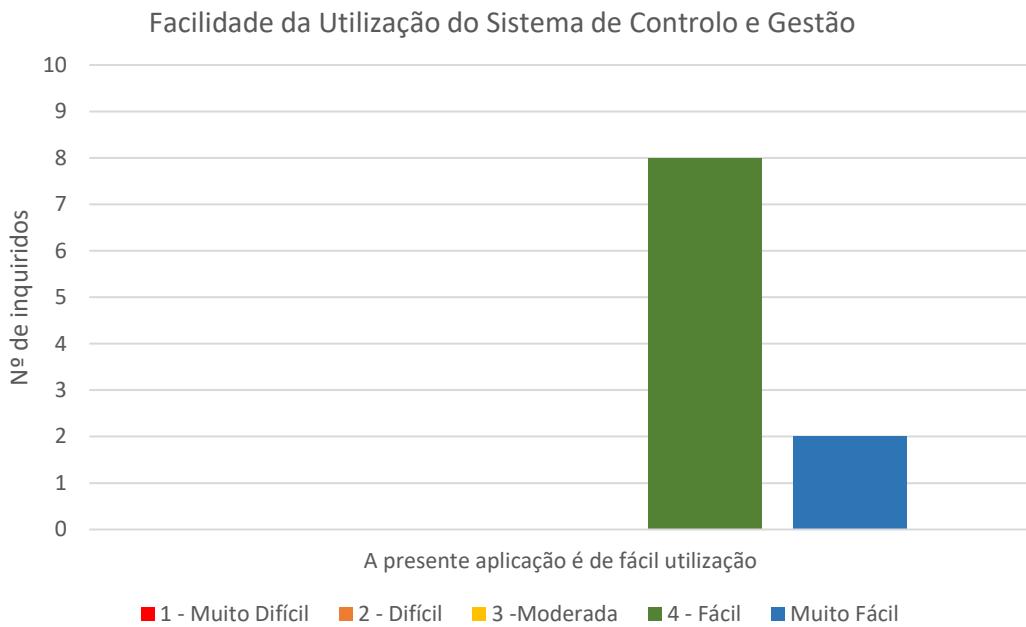


Figura 4.13 - Gráfico com a resposta dos Inquiridos relativa à facilidade de utilização do Sistema

Como se pode comprovar através da figura 3.18, com a resposta dos inquiridos referente à pergunta com o assunto relacionado com a facilidade de utilização do Sistema, este requisito encontra-se assegurado, uma vez que as respostas foram positivas, na medida que variaram entre o nível 4 e 5 da escala apresentada na figura 4.13.

A facilidade de utilização constitui-se como um fator fundamental, de modo a que os utilizadores do Sistema tenham uma mais rápida adaptação a este, refletindo-se também num menor tempo de estabelecimento de chamadas.

No âmbito do último grupo de perguntas, pretendeu-se a avaliar as funcionalidades e capacidades do Sistema, as funcionalidades implementadas de facto foram ao encontro dos requisitos levantados no subcapítulo 3.1. Os resultados das questões seguintes serão apresentados numa escala entre 1 a 5, na qual 1 corresponde a “inútil” e 5 a “muito útil”, estes resultados encontram-se na figura 4.14 e 4.15.

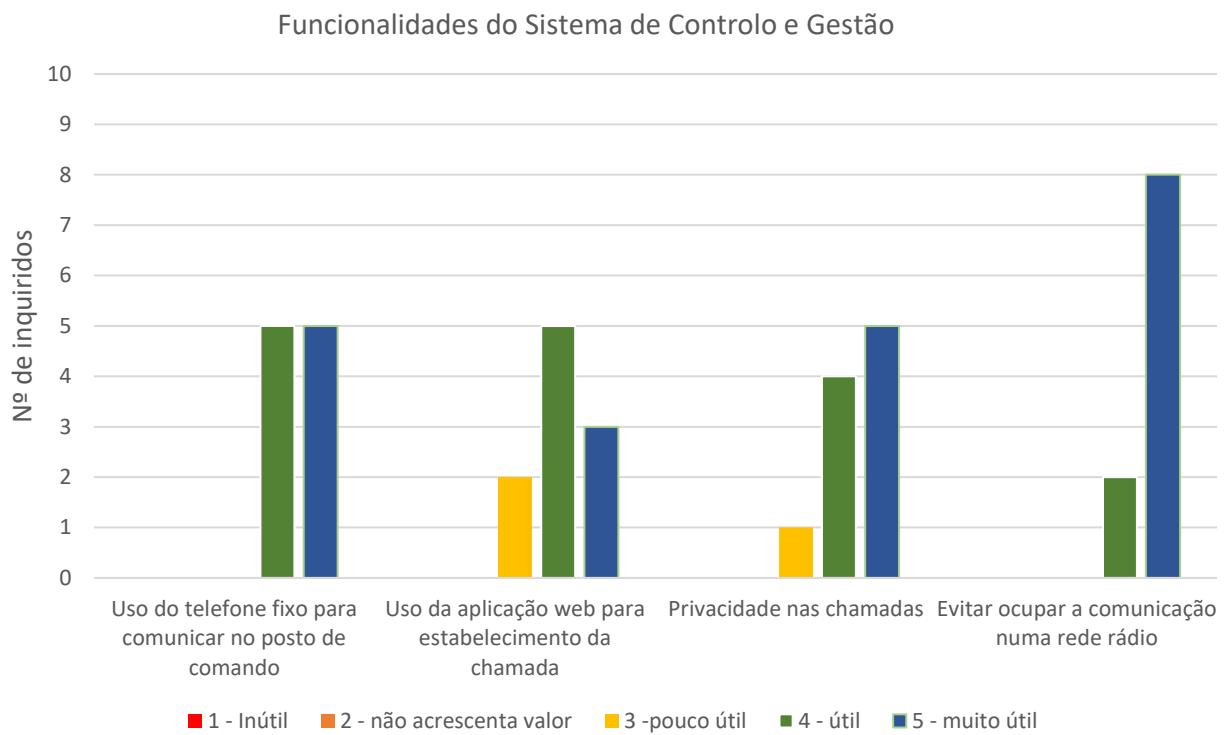


Figura 4.14 - Gráfico com a avaliação das funcionalidades do Sistema

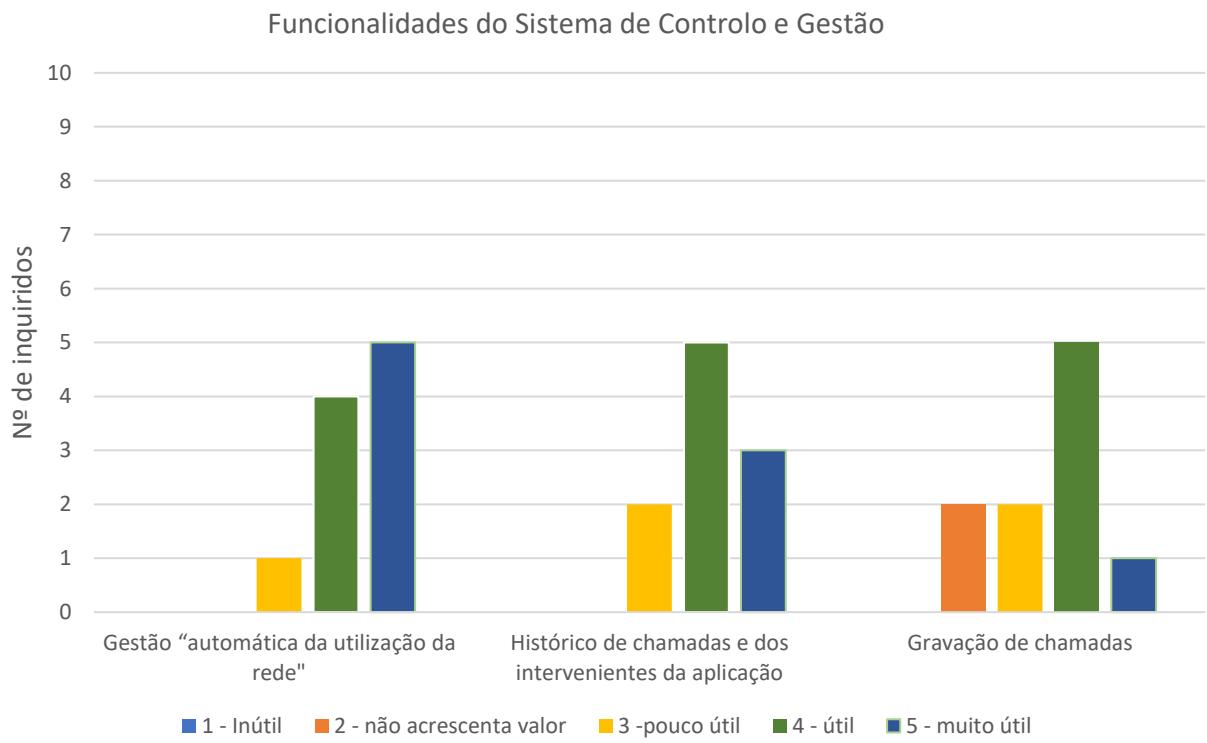


Figura 4.15 - Gráfico com a avaliação das funcionalidades do Sistema (continuação)

De um modo geral, é possível observar nas figuras 4.14 e 4.15 que as respostas obtidas vêm comprovar a relevância das capacidades que o Sistema disponibiliza. Após uma visão global de todos os aspetos avaliados, é possível constatar que se deparou com uma igualdade relativamente à predominância de níveis no que toca ao nível 4 e ao nível 5 na escala de utilidade definida.

Deste modo, é possível afirmar que quer a privacidade das chamadas, quer a possibilidade de ocupar a comunicação numa rede rádio, quer a gestão automática da utilização da rede, são funcionalidades que para os inquiridos se podem ser classificadas como indispensáveis no Sistema.

Por outro lado, embora no que diz respeito à gravação de chamadas ser mais controverso, é possível constatar que a maioria dos inquiridos, considerou que este é um fator útil no Sistema, nomeadamente em situações de *debriefing* após a ação, quando em manobras militares.

4.7. Discussão dos Resultados

No PAR, o conceito RoIP apresenta algumas limitações, as quais o presente Sistema desenvolvido se propõe colmatar, focando-se essencialmente na confidencialidade das chamadas e na não ocupação de uma rede rádio quando uma entidade do PC pretende entrar em contacto com outra entidade numa rede rádio, bem como introduzir funcionalidades, que até então, não existiam e que sem dúvida são cruciais para melhorar este conceito de comunicações.

O Sistema apresenta inúmeras vantagens, entre as quais se destacam a confidencialidade das chamadas entre dois indivíduos, dos quais um se encontra no PC a operar o Sistema e outro a cumprir a sua missão na área de operações, e a criação de um registo de atividade no Sistema. Através dos inquéritos realizados verificou-se que as funcionalidades disponibilizadas pelo Sistema são úteis e com valor acrescentado, pois estas não existiam nos Sistemas de Comunicações em vigor no Exército Português. Para além disso, o Sistema está dotado com a capacidade de efetuar a gestão da rede, isto é, de forma autónoma, o Sistema verifica o estado dos rádios, dos elementos presentes nas respetivas redes rádio, do fluxo de mensagens por estes enviados, do estado dos telefones no PC, entre outros.

Apesar de todas as valências que o Sistema traz consigo, no que toca à aplicabilidade, este já se encontra pronto para operar, como foi possível observar nos testes de campo que decorreram no Exercício Leão 19, no BFM 3 da Academia Militar. Contudo, seria mais proveitoso se fossem acrescentadas mais funcionalidades que lhe poderiam acrescer, futuramente mais valor e potencialidades para se constituir parte dos sistemas de comunicações do Exército Português.

A aplicação web constituiu-se como um fator que contribuiu, de forma muito positiva, para o sistema, na medida que este não precisa de ser instalado num sistema operativo específico, estando apenas dependente do acesso à rede de dados IP.

A utilização da tronca SIP, também acrescenta muito valor ao Sistema, uma vez que introduz a possibilidade da interação também entre militares que se encontram em território nacional com utilizadores móveis no TO.

Para a implementação do Sistema, foram testados os dois integradores, quer o ICC – 201, quer o *Vocality Basics Radio Relay*, tendo-se verificado que o primeiro se enquadrava melhor nas operações em que o Sistema fosse aplicado, uma vez que o ICC-201, foi desenvolvido exclusivamente para o Rádio Multifuncional GRC – 525, oferecendo capacidades extra (compatível com o protocolo de controlo remoto do rádio, integração de fonia e dados nos diferentes modos de funcionamento do rádio, maior resiliência no que toca a interferências associadas ao ruído, entre outros...) que o *Vocality Basics Radio Relay* não disponibiliza, pois este equipamento foi desenvolvido para integrar diferentes tipos de rádio somente através da interface de áudio. Para além disto, o ICC-201 confere também uma maior

flexibilidade no número de rádios que podem ser utilizados como *gateway*, no entanto qualquer um dos dois integradores tem a possibilidade de ser escalável.

O Sistema minimiza também a necessidade dos seus utilizadores terem de saber quais as extensões para realizarem a chamada com as redes rádio, uma vez que todos eles estão registados no Sistema e o utilizador não necessita de fazer a chamada para a extensão, mas sim selecionar no Sistema o destinatário que pretende contactar, e uma vez que as chamadas passam pelo Sistema, este é capaz de fazer o controlo das mesmas e guardar os detalhes que se relacionem com as mesmas. Desta forma, apenas os administradores têm acesso aos indicativos de chamada das redes rádio, aumentando o nível de segurança das comunicações.

Não foram tidos em conta os atrasos do Sistema, visto que, ao nível das comunicações entre o telefone e o rádio, este aspeto já foi alvo de estudo noutras trabalhos de investigação e, para a presente dissertação, este era um fator que não se assumia como sendo um tópico relevante. No entanto, a abordagem presente na figura 4.10, permitiu efetuar a comparação entre o Sistema atual e o Sistema desenvolvido nesta Dissertação, demonstrando que o Sistema desenvolvido diminui notoriamente não só o tempo necessário para estabelecer uma chamada privada, mas também o número de processos que toda esta implica, uma vez que são introduzidas as funcionalidades de gestão e controlo por parte do Sistema.

No que diz respeito aos requisitos identificados, o Sistema foi desenvolvido com o intuito de dar resposta aos requisitos propostos, mais concretamente ao nível de segurança, funcionalidades e interoperabilidade com outros sistemas. Ao longo deste capítulo, verificou-se que o Sistema correspondeu positivamente aos requisitos, cumprindo com todos os que foram propostos.

5. Conclusão e Trabalhos Futuros

O foco de todo o trabalho desenvolvido, no âmbito desta dissertação, abrange um tema com diversas limitações presentes no quotidiano do Exército Português, mais concretamente ao nível das comunicações táticas, nomeadamente comunicações rádio e sua integração com o mundo IP.

Estas limitações consistem na inexistência de um sistema que faça o controlo e a gestão das comunicações entre as redes rádios e as redes IP. Para além disso, outra grande limitação corrente neste âmbito e que a presente investigação pretendeu ultrapassar, é o facto de não existir a possibilidade de se estabelecer uma comunicação privada entre dois indivíduos, onde um deles se encontra num PC e pretende comunicar via telefone através do PAR como outro indivíduo, que se encontra na área de operações (operador rádio) e inserido numa determinada rede rádio. Atualmente sempre que a comunicação se destine a segundo elemento (operador rádio) todos os elementos da rede rádio vão escutar a comunicação e ficar impossibilitados de comunicar enquanto essa comunicação durar (meio partilhado).

Com o enquadramento apresentado no primeiro capítulo, é explicitada a importância das comunicações num ambiente operacional, onde os militares estão presentes em situações de risco e de emergência, sendo a segurança uma questão fundamental a ter em conta. Como tal, efetuou-se o estudo do SIC-T do Exército Português, com o intuito de analisar a situação atual, registando-se algumas limitações do módulo PAR; de seguida apresentou-se a proposta de solução para colmatar as limitações descritas.

Com o apoio da Direção de Comunicação e Sistemas de Informação do Exército, mais concretamente com a Equipa de Apoio em Engenharia para o Projeto do SIC-T, desenvolveu-se uma solução de modo a implementar um Sistema de Controlo e Gestão de Comunicações *Radio Over IP*, com o intuito de ser uma ferramenta com grande utilidade e adequada para o emprego operacional no Exército Português.

Primeiramente foram efetuados esforços para mitigar as limitações levantadas previamente, por forma a desenvolver a solução mencionada anteriormente. Começou-se, pois, pela definição dos requisitos de acordo com as necessidades existentes, a partir dos quais foi criada a arquitetura, o modelo de dados a utilizar e analisados os fluxos de execução. O sistema foi deste modo implementado de acordo com o estabelecido.

Numa segunda análise, após terminada a implementação do Sistema, foram definidos e executados testes e avaliações, onde se confrontaram as propriedades do Sistema com os requisitos definidos: no que toca à segurança, verificou-se que foram cumpridos os requisitos respetivos; relativamente às funcionalidades, constatou-se que o seu desenvolvimento e aplicação se revelaram um sucesso. Por fim, no que concerne à interoperabilidade, o Sistema apresenta capacidades de integração com outros sistemas que são abordados nos requisitos de interoperabilidade.

O veredicto do cumprimento dos objetivos concretizou-se num Sistema de Controlo e Gestão de chamadas com funcionalidades que, até então, tinham sido apenas pensadas, embora se revelem de grande importância, e que se traduzem em grandes potencialidades para os sistemas de comunicações táticos do Exército Português.

Após a obtenção do resultado final pretendido, foi efetuada a comparação entre o Sistema atual e o Sistema desenvolvido na presente Dissertação, verificando-se que este último se revelou mais eficiente não só ao nível do tempo necessário para estabelecer uma chamada privada, mas também se constatou que o Sistema desenvolvido introduziu funcionalidades de automação de determinados processos tornando-se numa ferramenta mais ágil e de fácil operacionalização pelos seus utilizadores, reduzindo deste modo a complexidade associada.

De forma a completar a fase de avaliações, foram realizadas apresentações do sistema a militares que trabalham em áreas relacionadas com o tema e onde ele pode vir a ter influência direta ou indireta. Destas apresentações, e dos questionários resultantes das mesmas, foi possível confirmar o elevado interesse existente na solução desenvolvida.

Como trabalho futuro, no que diz respeito ao enriquecimento do presente Sistema, é proposta a criação de um mecanismo que permita a precedência das chamadas, isto é, primeiramente, deverão ser definidos níveis de prioridade entre os utilizadores do Sistema. Quando um utilizador de uma determinada prioridade quer efetuar uma chamada privada com um operador rádio, e todos os rádios *gateways* designados para chamadas privadas se encontram ocupados, deverá existir um mecanismo que efetue a comparação entre o grau de precedência do utilizador que pretende efetuar a chamada e do utilizador com menos precedência que esteja a ocupar um destes rádios. Caso se verifique que o utilizador que pretende efetuar a chamada tenha um grau de precedência superior, a chamada a decorrer deve ser terminada, de modo a que o rádio fique livre para realizar novas comunicações e este utilizador de precedência superior consiga efetuar a chamada que pretende.

O Sistema está direcionado para efetuar a gestão e o controlo de chamadas cuja fonte é um utilizador do PC; no futuro, seria muito útil se fosse desenvolvido um mecanismo que permitisse também aos operadores rádio serem os originadores de uma chamada privada com um utilizador que se encontre no posto de comando.

Referências

- [1] J. Guilherme, "Organização das Transmissões no Exército," *Academia Militar*, p. 2, 2013.
- [2] C. Santos, "A utilização de Novas Tecnologias no Moderno Campo de Batalha," *Academia Militar*, Maio 2017.
- [3] J. Barroso, "O Sistema de Informação e Comunicações Táctico (SIC-T) do Exército Português," Instituto de Estudos Superiores Militares, Lisboa, 2008.
- [4] EID, "PRC-525 COMBAT NET RADIO," [Online]. Available: http://www.eid.pt/prod/7/prc-525_combat_net_radio/55/Overview. [Acedido em 15 Fevereiro 2019].
- [5] C. Ribeiro, "Os novos sistemas C4I para o Exército Português," *Proelium - Revista da Academia Militar*, vol. 1, nº 4, pp. 19-45, 2005.
- [6] Exército Português, "Publicação Doutrinária do Exército 3-00 - Operações," Lisboa: Ministério da Defesa Nacional, 2012, p. 2.24.
- [7] EID, Rádio Tático HF/VHF/UHF TR-525 - Manual de Operação e Manutenção, Lisboa, 2014.
- [8] Empresa de Investigação e Desenvolvimento de Electrónica, S.A, "Rádio Tático HF/VHF/UHF TR-525," Charneca da Caparica, 2009, pp. 11-19.
- [9] EID, ICC - 201 Integrador Rádio IP - Manual Geral, Lisboa, 2014.
- [10] Vocality, User Manual for BASICS Radio Relay in standalone mode, Surrey, 2016.
- [11] Vocality, User Manual for BASICS Radio Relay, Surrey, 2017.
- [12] C. Perkins, "An Introduction to RTP," em *RTP Audio and Video for the Internet*, Addison Wesley, 2003, pp. 6-14.
- [13] U. Shaw e B. Sharma, "A Survey Paper on Voice over Internet Protocol (VOIP)," *International Journal of Computer Applications*, vol. 139, nº 2, 2016.
- [14] B. Goode, "Voice over Internet protocol (VoIP)," *Proceedings of the IEEE*, vol. 90, nº 9, pp. 1495-1517, 2002.
- [15] 3CX, "What is SIP – Session Initiation Protocol?," [Online]. Available: <https://www.3cx.com/pbx/sip/>. [Acedido em 2 Novembro 2018].
- [16] A. B. Johnston, Understanding the Session Initiation Protocol, 2º ed., Londres: Artech House, 2004.
- [17] D. Z. H. S. Dee Milic, "VoIP Application Development using SIP protocol," *The Information Science Discussion Paper Series*, pp. 3-4, 15 Março 2008.
- [18] M. M. Rahman e N. S. Islam, "VoIP Implementation Using Asterisk PBX," *IOSR Journal of Business and Management*, vol. 15, nº 6, pp. 47-53, 2014.
- [19] L. R. Costa, L. S. N. Nunes, J. L. Bordim e K. Nakano, "Asterisk PBX Capacity Evaluation," em *2015 IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium Workshops*, Hyderabad, 2015.

- [20] Rohde&Schwarz, "Radio family for tactical communications," em *R&S®M3TR Software Defined Radios*, Munique, Alemanha, 2019, pp. 44-47.
- [21] Cisco Systems, Manual do utilizador do Telefone IP Cisco série 7800, San José - Estado Unidos da América, 2015.
- [22] J. Félix, "Terminal Web Multi-Rede Rádio Tático," em *Dissertação de Mestrado*, Instituto Superior Técnico, 2018.
- [23] S. Subotic, "Radio Over IP Voice and Signalling Characterization Through System-of-Systems Radio Over IP Solution Deployment," *Carleton University*, 2014.
- [24] D. Vukadinovic, "Global Sign," 22 Maio 2018. [Online]. Available: <https://www.globalsign.com/en/blog/the-difference-between-http-and-https/>. [Acedido em 10 Junho 2019].
- [25] Cisco, "Cisco Unified CME Overview," em *CiscoUnified Communications Manager Express System Administrator Guide*, San Jose, EUA, 2019, pp. 65-76.
- [26] West Unified Communications Services, "Understanding SIP Trunking," Louisville, EUA, 2016, pp. 5-8.
- [27] A. Shukla, "TCP Connection Management Mechanisms for Improving Internet Server Performance," *University of Waterloo*, 2005.
- [28] O. F. e. R. Vilão, "Backend," em *Software Development From A to Z: A Deep Dive into all the Roles Involved in the Creation of Software*, Berlim, Alemanha, Apress, 2018, p. 20.
- [29] Microsoft, SQL Server performance faster querying with SQL Server, Redmond, 2018.
- [30] Microsoft, "Asp.Net Core," 2018. [Online]. Available: <https://dotnet.microsoft.com/learn/aspnet/what-is-aspnet-core>. [Acedido em 21 Maio 2019].
- [31] Asterisk, "Asterisk Rest Interface (ARI)," 29 Agosto 2017. [Online]. Available: <https://wiki.asterisk.org/wiki/pages/viewpage.action?pageId=29395573>. [Acedido em 25 Fevereiro 2019].
- [32] R. Newton, "Asterisk Gateway Interface," Asterisk, 19 Outubro 2018. [Online]. Available: <https://wiki.asterisk.org/wiki/pages/viewpage.action?pageId=32375589>. [Acedido em 25 Maio 2019].
- [33] M. Davenport, "Asterisk Manager Interface (AMI)," Asterisk, 31 Agosto 2010. [Online]. Available: <https://wiki.asterisk.org/wiki/pages/viewpage.action?pageId=4817239>. [Acedido em 25 Maio 2019].
- [34] P. S. N. J. B. Kate T., "GET vs. POST," Diffen LLC, 15 Maio 2015. [Online]. Available: <https://www.differen.com/difference/GET-vs-POST-HTTP-Requests>. [Acedido em 30 Maio 2019].
- [35] K. C. Michael Donahoo, "Basic TCP Sockets," em *TCP/IP Sockets in C*, Burlington, EUA, Morgan Kaufmann Publishers , 2009, pp. 11-24.
- [36] J. Duckett, *Web Design With Html, Css, Javascript And Jquery Set*, Nova Jersey, EUA: JOHN WILEY & SONS INC, 2014.
- [37] B. Slap, "HTML Beginners's tutorial," 13 Outubro 2016. [Online]. Available: <https://www.benjaminslap.be/html-beginners-tutorial/>. [Acedido em 5 Junho 2019].

- [38] D. S. McFarland, CSS: the Missing Manual, California, EUA: O'reilly, Incorporated, 2015.
- [39] K. Hadlock, Ajax for Web Application Developers, Indiana, EUA: Sams Publishing, 2006.
- [40] T. A. Powell, Ajax: The Complete Reference, Nova Iorque, EUA: McGraw-Hill Education, 2008.
- [41] poiemaweb, "Modelo de processamento assíncrono e Ajax," 19 Setembro 2016. [Online]. Available: <https://poiemaweb.com/js-ajax>. [Acedido em 3 Julho 2019].
- [42] Academia Militar, "Bloco de Formação Militar N.º3 - Exercício "Leão 19"," 15 Julho 2019. [Online]. Available: <https://academiamilitar.pt/noticias/873-bloco-de-formacao-militar-n-3-exercicio-leao-19.html>. [Acedido em 10 Agosto 2019].
- [43] L. A. e. J. P. Carreiro, JavaScript, Lisboa, Portugal: FCA, 2013.
- [44] N. C. Zakas, Maintainable JavaScript: Writing Readable Code, California, EUA: O'Reilly Media, 2012.

Anexo A

Q1: Alguma vez, num dado posto de comando teve necessidade de comunicar com alguém que se encontre a operar no teatro de operações?

Q2: Atualmente, tem conhecimento se o processo para falar com uma entidade específica, que esteja a operar no campo de batalha, é fácil e ágil?

Q3: Quais as limitações ou problemas do processo mencionado anteriormente?

Q4: O presente Sistema permite resolver problemas que anteriormente eram uma limitação?

Q5: Considera um contributo valioso para a melhoria das comunicações do Exército Português?

Q6: Considera que esta solução deve ser implementada em operações militares futuras?

Q7: Na generalidade considera que a presente aplicação é de fácil utilização? Para a resposta, classifique de 1 a 5, onde 1 equivale a muito difícil e 5 muito fácil.

Q8: No que toca às funcionalidades, classifique de 1 a 5, onde 1 é inútil e 5 muito útil as seguintes:

- Uso do telefone fixo para comunicar no posto de comando;
- Uso da aplicação web para estabelecimento da chamada;
- Privacidade nas chamadas;
- Evitar ocupar a comunicação numa rede rádio, quando uma entidade no posto de comando necessita de falar com alguém em específico presente nessa rede rádio;
- Gestão “automática da utilização da rede”;
- Histórico de chamadas e dos intervenientes da aplicação;
- Gravação de chamadas.