

ESCOLA DE GUERRA NAVAL

CMG (EN) ITALO RAMELLA

**UMA ARQUITETURA DE COMUNICAÇÕES PARA A INTEROPERABILIDADE
DAS FORÇAS ARMADAS BRASILEIRAS**

Rio de Janeiro

2021

CMG (EN) ITALO RAMELLA

**UMA ARQUITETURA DE COMUNICAÇÕES PARA A INTEROPERABILIDADE
DAS FORÇAS ARMADAS BRASILEIRAS**

Tese apresentada à Escola de Guerra Naval,
como requisito parcial para a conclusão do
Curso de Política e Estratégia Marítimas.

Orientador: CMG (Ref^o) LUIZ CARLOS DE
CARVALHO ROTH

Rio de Janeiro
Escola de Guerra Naval
2021

RESUMO

Interoperabilidade é um assunto complexo, mas tem como resultado a capacidade de operar em conjunto. Forças Armadas que interoperam, portanto, conseguem operar em conjunto. A complexidade do assunto demanda tratar a interoperabilidade de uma forma estratificada, separando-a em camadas, para que cada camada fique responsável por determinada tarefa. Quando todas as camadas executam as suas tarefas corretamente, a interoperabilidade é atingida em plenitude. Pesquisas realizadas em documentos doutrinários e artigos afins bem como análises baseadas nos métodos indutivo e dedutivo mostraram que: 1) as camadas da interoperabilidade podem ser condensadas em dois grandes blocos, a Interoperabilidade Organizacional e a Interoperabilidade Técnica, em que a primeira abrange aspectos subjetivos, relacionados ao comportamento humano, e a segunda, aspectos objetivos, relacionados a elementos técnicos; 2) a Interoperabilidade Técnica das Forças Armadas brasileiras apresenta-se deficiente no Teatro de Operações, situação que gera dificuldades na formação da consciência situacional e pode definir os rumos de um conflito armado; e 3) dois projetos nacionais em fase final de desenvolvimento, o Rádio Definido por Software do Ministério da Defesa e o *Multi Data Link Processor* do Ministério da Defesa, são capazes de compor uma arquitetura de comunicações que terá como meta suplantar a deficiência de Interoperabilidade Técnica das Forças. Essa arquitetura de comunicações foi proposta e analisada por meio do método científico hipotético-dedutivo, e resultados de testes feitos em laboratório permitiram inferir que ela alcançará sua meta e ainda poderá ser usada no Sistema de Gerenciamento da Amazônia Azul, outro importante projeto da Marinha do Brasil.

Palavras-chave: Forças Armadas. Interoperabilidade. Arquitetura de Comunicações.

ABSTRACT

Interoperability is a complex issue, but it results in the ability to work together. Armed forces that interoperate, therefore, are able to operate together. The complexity of the subject claims for the interoperability to be treated in a stratified way, therefore separating it into layers, so that each layer is responsible for a certain task. When all layers perform their tasks correctly, the interoperability is fully achieved. Researches carried out on doctrinal documents and related articles as well as analyzes based on the inductive and deductive methods showed that: 1) the layers of interoperability can be condensed into two large blocks, Organizational Interoperability and Technical Interoperability, where the first covers subjective aspects, related to human behavior, and the second covers objective aspects, related to technical elements; 2) the Technical Interoperability of the Brazilian Armed Forces is deficient in the Theater of War, so this situation creates difficulties to form the situational awareness and can define the course of an armed conflict; and 3) two national projects in the final stages of development, the Ministry of Defense's Software-Defined Radio and the Ministry of Defense's Multi Data Link Processor, are able to compose a communications architecture whose goal is to overcome the lack of Technical Interoperability of the Forces. The hypothetical-deductive scientific method was used to propose and analyze this communications architecture, and the results of tests carried out inside Navy premises allowed to infer that such architecture will reach its goal and can still be used in the Management System of Amazônia Azul, another Brazilian Navy's important project of the.

Keywords: Armed Forces. Communications Architecture. Interoperability.

AGRADECIMENTOS

Ao nosso Pai Maior, pela oportunidade de galgar os degraus da vida e exercitar a empatia.

Ao meu orientador, CMG (Ref) Roth, pelos conselhos seguros e correções de rumo assertivas.

Ao CMG Giovani Corrêa, por sua atenção e pela disponibilidade em compartilhar sua experiência operativa.

Aos colegas do C-PEM 2021, pela coesão e pelo respeito, que geraram muitas amizades e trabalhos profícuos.

Aos meus sogros, César e Áurea, pelos apoios e exemplos de sabedoria e conhecimento.

À minha mãe, Mariza, e à minha, irmã Liane, pelos muitos ensinamentos e pela confiança em minhas decisões.

À minha esposa, Daniela, e a meus filhos, Bruna e Bernardo, por caminharem comigo nesta trajetória atribulada, que lhes subtraiu consideráveis horas de convívio, e por acreditarem nos meus objetivos.

Ao meu pai, Ivã, e à minha avó, Arlete, que, de algum lugar na paz espiritual, certamente irradiam força e intuição nos momentos em que a dúvida e o cansaço teimam em não esmorecer.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Forma reduzida do modelo de interoperabilidade de Tolk.....	10
Figura 2 –	Interação entre organizações que implementam o modelo de Tolk.....	11
Figura 3 –	EDT distintos que não se comunicam.....	14
Figura 4 –	Forma completa do modelo de interoperabilidade de Tolk.....	18
Figura 5 –	SisMC2 interligado pela ROD.....	22
Figura 6 –	Infraestrutura da ROD.....	23
Figura 7 –	Exemplos de EDT.....	24
Figura 8 –	Representação de três EDT que têm nós como SisC2 do nível tático.....	25
Figura 9 –	O TO conectado à ROD pelo segmento espacial do SISCOMIS.....	26
Figura 10 –	Arquitetura de Barramento Único que deu origem ao INTERC2.....	27
Figura 11 –	Um RDS genérico conectado a uma antena.....	29
Figura 12 –	O protótipo veicular do RDS-Defesa.....	31
Figura 13 –	Elementos de <i>software</i> do RDS-Defesa.....	33
Figura 14 –	O RDS-Defesa com duas interfaces de RF: dois rádios independentes em uma única plataforma física.....	33
Figura 15 –	O RDS-Defesa atua na base da Interoperabilidade Técnica.....	33
Figura 16 –	Três Forças em operações conjuntas no TO.....	34
Figura 17 –	Dois EDT que não interoperam.....	38
Figura 18 –	Dois EDT que interoperam por meio de um <i>gateway</i>	39
Figura 19 –	A arquitetura de <i>software</i> do MDLP-Defesa.....	40
Figura 20 –	MDLP-Defesa atuando nas demais camadas da Interoperabilidade Técnica....	41
Figura 21 –	MDLP-Defesa atuando com outros sistemas diferentes dos EDT.....	42
Figura 22 –	RDS-Defesa e MDLP-Defesa atuam na Interoperabilidade Técnica.....	44
Figura 23 –	Uma Arq1 com quatro EDT.....	45
Figura 24 –	Elementos <u>rad</u> de uma Arq1 são substituídos pelo RDS-Defesa.....	46
Figura 25 –	Sete EDT interoperam com quatro <i>gateways</i> centrais.....	46
Figura 26 –	Uma Arq2 com quatro EDT.....	47
Figura 27 –	Elementos <u>rad</u> de uma Arq2 são substituídos pelo RDS-Defesa.....	48
Figura 28 –	O <i>gateway</i> de uma Arq2 com seis <u>sis-rad</u>	48
Figura 29 –	Uma Arq2 com quatro EDT adquire robustez com um <i>gateway</i> por EDT.....	49
Figura 30 –	A Arq2 sob nova perspectiva.....	50
Figura 31 –	Uma ArqComPro com quatro EDT.....	51
Figura 32 –	RDS-Defesa, com duas interfaces de RF, opera no enlace central e no EDT...	52
Figura 33 –	TO com ArqComPro conectado à ROD	52
Figura 34 –	A ArqComPro é capaz de agregar novas tecnologias.....	54
Figura 35 –	O EDT amarelo aumenta sua robustez com dois <i>gateways</i>	55
Figura 36 –	A ArqComPro promove a Interoperabilidade Técnica entre os EDT das FA....	56
Figura 37 –	Arquitetura da PoC realizada em junho de 2020.....	58
Figura 38 –	Registro do deslocamento simulado da aeronave	59
Figura 39 –	Arquitetura da PoC realizada em dezembro de 2020.....	60

LISTA DE TABELAS

1 –	Pergunta que melhor poderia representar o propósito de cada camada do modelo de Tolk.....	19
2 –	Níveis de interoperabilidade de acordo com o modelo LISI.....	21
3 –	Fatores positivos do RDS-Defesa e do MDLP-Defesa.....	43
4 –	Premissas para se obter a ArqComPro.....	44
5 –	Objetivos das PoC do MDLP-Defesa.....	57

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Arq1 –	Arquitetura 1
Arq2 –	Arquitetura 2
ArqComPro –	Arquitetura de Comunicações Proposta
BID –	Base Industrial de Defesa
CASNAV –	Centro de Análises de Sistemas Navais
ComOpNav –	Comando de Operações Navais
CTIM –	Centro de Tecnologia da Informação da Marinha
DSAM –	Diretoria de Sistemas de Armas da Marinha
EB –	Exército Brasileiro
EDT –	Enlace(s) de Dados Táticos
ENAP –	Escola Nacional de Administração Pública
FA –	Forças Armadas
FAB –	Força Aérea Brasileira
FO –	Forma(s) de Onda
FOIEDT –	Forma de Onda de Interoperabilidade de EDT
GCB –	Gerenciador do Campo de Batalha
LAN –	<i>Local Area Network(s)</i>
LISI –	<i>Levels of Information Systems Interoperability</i>
INTERC2 –	Interoperabilidade de Comando e Controle
IpqM –	Instituto de Pesquisas da Marinha
MB –	Marinha do Brasil
MD –	Ministério da Defesa
MDLP –	<i>Multi Data Link Processor</i>
MDLP-Defesa –	<i>Multi Data Link Processor</i> do Ministério da Defesa
OTAN –	Organização do Tratado do Atlântico Norte
PoC –	Prova(s) de Conceito
PIOP –	Portal de Inteligência Operacional
rad –	Rádio do Conjunto Sistema e Rádio dos EDT
RDS –	Rádio(s) Definido(s) por Software
RDS-Defesa –	Rádio Definido por <i>Software</i> do Ministério da Defesa
RECIM –	Rede de Comunicações Integrada da Marinha
RF –	Radiofrequência
ROD –	Rede Operacional de Defesa
SdS –	Sistema(s) de Sistemas
SIGMLD –	Sistema de Logística Militar do Ministério da Defesa
SIPLOM –	Sistema de Planejamento Operacional Militar
sis –	Sistema do Conjunto Sistema e Rádio dos EDT
sis-rad –	Conjunto Sistema e Rádio dos EDT
SisC2 –	Sistema(s) de Comando e Controle
SisC2FAB –	Sistema de Comando e Controle da Força Aérea Brasileira
SisC2FTer –	Sistema de Comando e Controle da Força Terrestre
SISCOMIS –	Sistema de Comunicações Militares por Satélites
SisGAAz –	Sistema de Gerenciamento da Amazônia Azul
SisMC2 –	Sistema Militar de Comando e Controle
SisNC2 –	Sistema Naval de Comando e Controle
SISTED –	Sistema Tático de Enlace de Dados
TO –	Teatro(s) de Operações
WAN –	<i>Wide Area Network</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	Questão de Estudo.....	14
1.2	Justificativa.....	14
1.3	Relevância.....	15
1.4	Estrutura Capitular e Metodologia.....	15
1.5	Uso de Abreviaturas e Siglas.....	16
2	INTEROPERABILIDADE	17
2.1	Conceito.....	17
2.2	Sistema(s) de Comando e Controle (SisC2).....	22
2.3	Enlace(s) de Dados Táticos (EDT).....	24
2.4	A Falta de Interoperabilidade entre os EDT das FA.....	27
3	O RÁDIO DEFINIDO POR SOFTWARE DO MINISTÉRIO DA DEFESA	29
3.1	Rádio Definido por Software.....	29
3.2	O RDS-Defesa.....	31
3.3	RDS-Defesa como Fator Positivo.....	33
4	O <i>MULTI DATA LINK PROCESSOR</i> DO MINISTÉRIO DA DEFESA	36
4.1	Processador de Múltiplos Enlaces da Dados.....	36
4.2	O MDLP-Defesa.....	37
4.3	MDLP-Defesa como Fator Positivo.....	40
5	ARQUITETURA DE COMUNICAÇÕES PROPOSTA	43
5.1	Premissas.....	43
5.2	Arquiteturas Insatisfatórias.....	45
5.3	A Arquitetura de Comunicações Proposta (ArqComPro).....	50
5.3.1	ArqComPro e os Fatores Positivos de RDS-Defesa e MDLP-Defesa.....	51
5.3.2	ArqComPro e as Premissas Doutrinárias.....	53
5.3.3	ArqComPro e a Interoperabilidade entre os EDT das FA.....	55
5.4	Provas de Conceito do MDLP-Defesa.....	57
5.5	ArqComPro e o Sistema de Gerenciamento da Amazônia Azul.....	61
5.6	ArqComPro, Interoperabilidade e Guerra Centrada em Redes.....	62
6	CONCLUSÃO	65
	REFERÊNCIAS	67

1. INTRODUÇÃO

Interoperabilidade, segundo a Escola Nacional de Administração Pública (ENAP), é a capacidade de diversos sistemas e organizações trabalharem em conjunto, interagindo para trocar informações¹ de maneira eficiente e eficaz (ENAP, 2015). O Glossário das Forças Armadas define interoperabilidade como a capacidade de sistemas, unidades ou forças intercambiarem serviços ou informações sem o comprometimento de suas funcionalidades (BRASIL, 2015c). Para o National Research Council (1999), interoperabilidade é um assunto complexo, mas que pode ser definido como a habilidade de sistemas proverem trocas dinâmicas e interativas de dados e informações. Nota-se a homogeneidade das definições, que se sustentam nesta premissa básica: ser capaz de trocar informações.

Trocar informações, entretanto, não é uma tarefa simples quando estão envolvidas organizações que empregam sistemas e métodos distintos no uso dessas informações. A interoperabilidade refere-se, portanto, a um processo de comunicação entre dois ou mais sistemas sem a geração de dependência tecnológica entre eles (ENAP, 2015) e sem que haja um comprometimento das funcionalidades desses sistemas (BRASIL, 2015c).

Preservar a independência tecnológica e as funcionalidades dos sistemas que devem interoperar remete a encarar a interoperabilidade de uma forma estratificada, entendendo-a como um modelo de camadas, em que cada uma delas fica responsável por executar uma determinada tarefa. Nessa estratificação, definem-se as camadas que efetivamente estão incumbidas de trocar as informações. Um modelo como esse foi proposto por Tolk (2003), cuja forma reduzida² está exibida na FIG. 1, em que dois grupos, a Interoperabilidade Organizacional e a Interoperabilidade Técnica, representam a união de camadas afins.

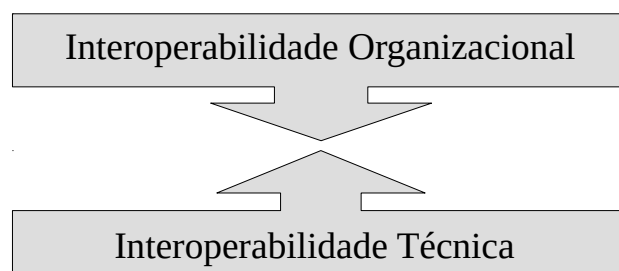


FIGURA 1 – Forma reduzida do modelo de interoperabilidade de Tolk.

Fonte: TOLK, 2003, p. 18.

¹ Informações, em sistemas de comunicações, são conjuntos de dados e possuem significado.

² O modelo completo de Tolk possui nove camadas.

O modelo de Tolk, que tem propósitos militares focados principalmente na Guerra Centrada em Redes,³ também pode ser explorado por organizações civis e contribui para a implantação e o incremento da interoperabilidade.

Segundo Tolk, a Interoperabilidade Organizacional, mais ligada a elementos intangíveis, refere-se à habilidade de harmonizar e coordenar objetivos políticos, doutrinas e estratégias operacionais, procedimentos e métodos operacionais, ambiente e ferramentas de colaboração, enquanto a Interoperabilidade Técnica, caracterizada por elementos tangíveis, refere-se à habilidade de coletar, manipular, distribuir e disseminar dados e informações. A convergência dessas Interoperabilidades em um ponto denota que ambas devem ser atingidas para que se obtenha a interoperabilidade total.

A capacidade de trocar informações, premissa básica de todas as definições de interoperabilidade mostradas, encontra-se, entretanto, na Interoperabilidade Técnica. Não se pretende atribuir maior importância a esse bloco em detrimento da Interoperabilidade Organizacional, mas a interoperabilidade estará comprometida se não for possível trocar informações. A FIG. 2 representa o exposto e evidencia diferentes organizações que se esforçam em interoperar e usam o modelo de camadas. Verifica-se que a interação entre as organizações ocorre por meio da Interoperabilidade Técnica.

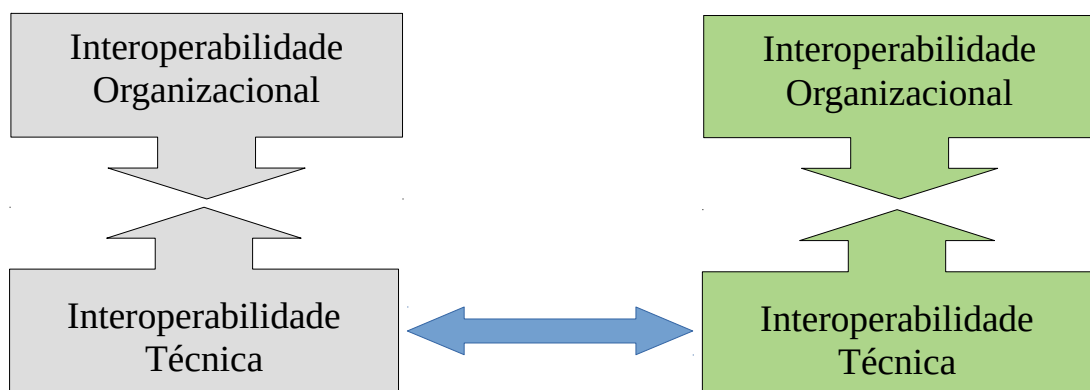


FIGURA 2 – Interação entre organizações que implementam o modelo de Tolk.

No contexto militar brasileiro, um Sistema de Comando e Controle (SisC2), resumidamente, é o conjunto de pessoal, instalações, equipamentos, comunicações, doutrina e procedimentos das Forças Armadas (BRASIL, 2015c). Deduz-se, assim, que as Forças Armadas (FA), constituídas pela Marinha do Brasil (MB), pelo Exército Brasileiro (EB) e pela Força Aérea Brasileira (FAB), interoperam por meio dos componentes dos seus SisC2.

³ A Guerra Centrada em Redes é aquela em que diversos elementos das forças armadas de um país estão reunidos em rede e são capazes de administrar muitas tarefas que vão desde a coleta até a distribuição de informações críticas que são trocadas nessa rede (BRASIL, 2015c).

Considerando-se que todos esses componentes associam-se às camadas do modelo de Tolk, entende-se, então, que a interoperabilidade das FA pode ser implementada de uma forma estratificada. O Glossário das Forças Armadas corrobora esse entendimento quando define interoperabilidade, pois afirma que ela é diretamente afetada pela padronização de equipamentos, comunicações, doutrina e procedimentos das FA (BRASIL, 2015c).

Seguindo esse viés e percebendo que era importante estudar e aprimorar a interoperabilidade, pois o seu nível determina o sucesso ou o fracasso das forças militares engajadas no Teatro de Operações (TO),⁴ grupos de trabalho do Ministério da Defesa (MD) produziram documentos como a Doutrina para o Sistema Militar de Comando e Controle (3ª Edição/2015), o Conceito de Operações do Sistema Militar de Comando e Controle (1ª Edição/2015) e o Conceito de Operações do Sistema Tático de Enlace de Dados (1ª Edição/2015).⁵ Todos os três documentos adotaram, adicionalmente ao modelo de camadas de Tolk, o modelo LISI⁶ (*Levels of Information Systems Interoperability* – Níveis de Interoperabilidade de Sistemas de Informação), que serve para avaliar o nível de interoperabilidade alcançado e pode assumir as seguintes graduações: Nível 0 (sistemas isolados, sem conexão), Nível 1 (sistemas conectados bilateralmente), Nível 2 (sistemas conectados em ambiente distribuído), Nível 3 (sistemas conectados em ambiente integrado) e Nível 4 (sistemas conectados em ambiente universal).

A análise dos documentos citados revelou que os esforços para incrementar a interoperabilidade das FA concentraram-se nas camadas da Interoperabilidade Organizacional, mas permaneceu um importante problema nas camadas da Interoperabilidade Técnica, por onde começa qualquer troca de dados. Esse problema revela-se pela seguinte assertiva:

[...] pode-se inferir que, para enlances de dados, a interoperabilidade desses sistemas se encontra no nível 0 (zero), no qual a interoperabilidade só é alcançada através de algum tipo de mídia removível ou pela ação de um operador que possibilite a transferência de dados manualmente entre os sistemas. Caso seja considerada a troca de informações em fonia, pode-se classificar a interoperabilidade no nível 1 (um), quando a conectividade é realizada de modo ponto-a-ponto entre os sistemas (BRASIL, 2015b, p. 39).

Os enlances de dados citados na assertiva referem-se a Enlances de Dados Táticos (EDT),⁷ que podem ser definidos genericamente como sistemas de trocas automáticas de

4 Teatro de Operações define-se como parte do Teatro de Guerra em que se conduzem operações militares de grande vulto (BRASIL, 2015c).

5 O documento em questão é classificado como reservado, portanto ele não consta nas referências deste trabalho e seu conteúdo foi inteiramente preservado.

6 Modelo criado pelo C4ISR ARCHITECTURES WORKING GROUP (1998, citado por TOLK, 2003).

7 Os EDT também são chamados de Enlances Automáticos de Dados (EAD) em face do automatismo da troca de dados entre os componentes do enlace. A literatura internacional consagra o termo *Tactical Data Link*, cuja tradução é exatamente Enlace de Dado Tático.

mensagens,⁸ em que essas trocas são realizadas por radiofrequência (RF)⁹ e com mecanismos que evitam perdas de mensagens. O termo “Tático” refere-se ao nível decisório¹⁰ tático, logo fica explícito que os EDT são sistemas empregados nesse nível.

No TO de nível tático, imperam as seguintes características: não há infraestrutura de comunicações permanente e as FA interoperam por meio dos elementos de seus SisC2. Nessas condições, as trocas de mensagens só acontecem de forma automática com o uso dos EDT, portanto a interoperabilidade de Nível 0 desses EDT obriga os SisC2 a trocarem mensagens apenas por fonia, impondo restrições severas à formação da consciência situacional.¹¹ Essas restrições não se limitam ao nível tático, estendendo-se também aos demais níveis decisórios. Considerando-se que os conflitos atuais regem-se por Guerras Centradas em Redes, em que a consciência situacional é construída por fluxos intensos e constantes de dados, deficiências e lentidão na troca desses dados definem os rumos do conflito.

A mitigação do problema revelado poderá ocorrer por meio do Rádio Definido por *Software* do Ministério da Defesa (RDS-Defesa) e do Processador de Múltiplos Enlaces de Dados (*Multi Data Link Processor* – MDLP)¹² do Ministério da Defesa, ou MDLP-Defesa, dois projetos do MD em execução. O RDS-Defesa conta com a participação das três FA sob coordenação do Exército Brasileiro e visa à produção de um rádio nacional em que as suas funções operacionais são configuradas por *software*. O desenvolvimento do RDS-Defesa está na fase final de sua versão veicular, com conclusão prevista para dezembro de 2022. O MDLP-Defesa desenvolve-se no Centro de Análises de Sistemas Navais (CASNAV), sob responsabilidade da Diretoria de Sistemas de Armas da Marinha (DSAM), e resume-se¹³ a um *software* que será a ligação entre os dados que trafegam em diferentes EDT. O desenvolvimento da versão inicial do MDLP-Defesa deverá ser concluído até dezembro de

8 Mensagens ou informações, em sistemas de comunicações, são conjuntos de dados e possuem significado.

9 Radiofrequência define-se como o conjunto de frequências compreendidas entre 30 KHz e 300 GHz, que integram a faixa das ondas de rádio (BRASIL, 2015c). O acrônimo RF é jargão no contexto das telecomunicações.

10 Os níveis decisórios, partindo-se do mais alto, seguem esta cadeia hierárquica: político, estratégico, operacional e tático. O nível político define os objetivos das ações a serem tomadas, as alianças internacionais a serem estabelecidas, as limitações do direito internacional e dos acordos entre nações e as restrições ao uso do espaço e dos meios militares. O nível estratégico transforma as condicionantes e as orientações políticas em ações estratégicas a serem desenvolvidas pelas forças militares. O nível operacional planeja e conduz as operações necessárias. O nível tático emprega as forças militares para se atingirem os objetivos traçados (BRASIL, 2015c).

11 A consciência situacional é a percepção precisa dos fatores e condições do que se passa ao redor do decisor durante um período determinado de tempo (BRASIL, 2015c).

12 MDLP, apesar de se referir a um nome em inglês, é um acrônimo já consagrado no âmbito do MD e das FA e será amplamente usado.

13 O MDLP-Defesa foi concebido como um *software*, que se utiliza de infraestruturas de *hardware* já existentes para executar suas tarefas. Essa concepção está bem definida no Capítulo 4 deste trabalho.

2023, mas duas Provas de Conceito (PoC)¹⁴ foram realizadas em junho e dezembro de 2020, com arquiteturas de comunicações que mostraram resultados promissores quanto a elevar o nível de interoperabilidade entre os EDT das FA.

1.1 Questão de Estudo

Diante do problema exposto, identificou-se a seguinte Questão de Estudo: como o RDS-Defesa e o MDLP-Defesa podem contribuir para uma arquitetura de comunicações que promova a interoperabilidade entre os EDT das FA?

A FIG. 3 mostra um cenário com a representação pictórica do problema que leva à Questão de Estudo. As elipses são os EDT, as esferas são seus elementos, que se comunicam e trocam dados, e os cilindros são os SisC2 táticos associados a cada elemento. Vê-se que as elipses não se comunicam, os elementos de um enlace não conseguem trocar dados com os elementos de outros enlaces e as comunicações automáticas só acontecem dentro de um mesmo enlace. Entre enlaces distintos, portanto, os SisC2 não interoperam de forma automática. Nesse cenário, não há infraestrutura de comunicações permanente das FA.

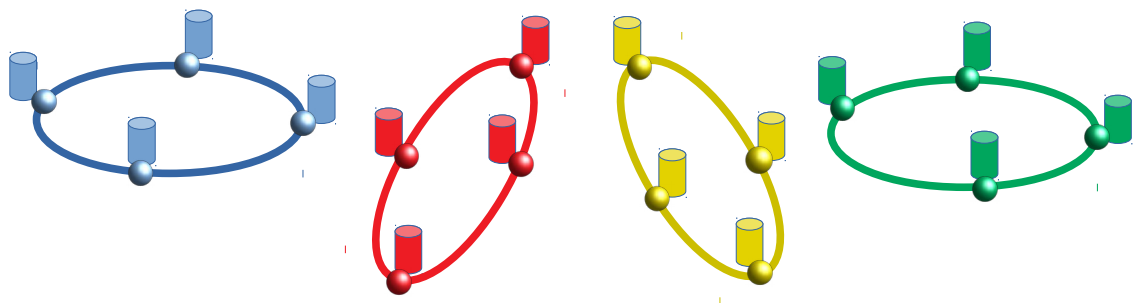


FIGURA 3 – EDT distintos que não se comunicam.

1.2 Justificativa

Revela-se, como fator negativo, que os EDT das FA não se comunicam, obrigando os SisC2 táticos a interagirem apenas por fonia, sem qualquer possibilidade de trocarem dados automaticamente. Por outro lado, revela-se, como fator positivo, que o grau de maturidade dos projetos RDS-Defesa e MDLP-Defesa permite-lhes compor, a partir de 2023, uma arquitetura que promova a comunicação entre os EDT. Destarte surgem estas oportunidades: explorar o fator positivo e encontrar a arquitetura de comunicações adequada; aumentar o nível de

¹⁴Uma prova de conceito é um conjunto de testes que são realizados para comprovarem as funcionalidades de um projeto.

interoperabilidade entre os EDT e os SisC2 táticos; e estender essa interoperabilidade aos demais níveis decisórios.

1.3 Relevância

Este trabalho trará, entre outros, os seguintes benefícios:

- permitir, no menor¹⁵ prazo possível, a comunicação entre os EDT das FA, promovendo-lhes a Interoperabilidade Técnica;
- permitir aos SisC2 táticos trocar dados automaticamente e alcançar o nível 3 de interoperabilidade;
- permitir chegar ao nível estratégico a consciência situacional do TO;
- assegurar às FA autonomia¹⁶ para especificar requisitos próprios para seus EDT, sem que isso prejudique os avanços já conseguidos na Interoperabilidade Organizacional;
- contribuir com o preconizado na Estratégia Nacional de Defesa quanto a prover a Capacidade de Coordenação e Controle e quanto à execução da Ação Estratégica de Defesa 10 (AED-10);¹⁷
- permitir que as FA mantenham seus equipamentos legados¹⁸ de comunicações e preservem os investimentos já realizados;
- aumentar a capacidade de as FA conduzirem a Guerra Centrada em Redes e evitarem o fratricídio.¹⁹

1.4 Estrutura Capítular e Metodologia

Este trabalho flui por mais cinco capítulos.

No Capítulo 2, o assunto Interoperabilidade será aprofundado e importantes elementos que a influenciam no âmbito do MD e das FA serão citados e analisados. O conteúdo desse capítulo esclarece o problema que leva à Questão de Estudo.

Os Capítulos 3 e 4 dedicar-se-ão ao RDS-Defesa e ao MDLP-Defesa respectivamente. Seus conceitos e características serão mostrados e analisados. O final de

¹⁵ Estima-se que, ao final de 2023, os primeiros testes com os EDT já possam ser realizados.

¹⁶ Mesmo que essa autonomia implique alguma diversidade entre sistemas e equipamentos, a solução proposta por este trabalho proverá a Interoperabilidade Técnica e mitigará a diversidade.

¹⁷ AED-10: desenvolver as capacidades de monitorar e controlar o espaço aéreo, o espaço cibernético, o território, as águas jurisdicionais brasileiras e outras áreas de interesse (BRASIL, 2020, p. 63)

¹⁸ Equipamentos ou sistemas legados são aqueles que já compõem a infraestrutura de camadas da Interoperabilidade Organizacional ou Técnica de uma instituição.

¹⁹ Fratricídio, no contexto militar, denota a destruição de forças por forças amigas.

cada um dos capítulos evidenciará quais aspectos desses projetos elegem-nos como fatores positivos para solucionar a Questão de Estudo.

A metodologia científica empregada nos Capítulos 2, 3 e 4 amparou-se em: pesquisa documental aplicada em documentos doutrinários do MD e em artigos relacionados ao assunto para montar o necessário arcabouço de informações; e métodos indutivo e dedutivo para analisar essas informações.

O Capítulo 5 abordará a Questão de Estudo, cuja solução apresentará uma arquitetura de comunicações, alicerçada na atuação do RDS-Defesa e do MDLP-Defesa, que promova a interoperabilidade entre os EDT das FA. Tal solução, contudo, será construída por meio de um processo investigatório, em que duas soluções intermediárias serão apresentadas e analisadas como insatisfatórias. Esse processo é típico do método científico hipotético-dedutivo, que, segundo Lakatos *et al.* (2005), compõe-se das seguintes fases: definição de um problema; elaboração de uma conjectura (solução); execução de testes de falseamento; e validação ou refutação da conjectura, retomando-se a fase de elaboração de uma conjectura no caso de haver refutação. Ainda no Capítulo 5: a validade da solução escolhida será defendida por meio de análises sobre as arquiteturas usadas nas PoC do MDLP-Defesa; e será mostrado que tal solução ainda poderá ser empregada para se alcançarem objetivos mais amplos do que a interoperabilidade dos EDT das FA.

O Capítulo 6 concluirá o trabalho.

1.5 Uso de Abreviaturas e Siglas

Abreviaturas e siglas são amplamente usadas ao longo deste trabalho como forma de deixar o texto mais conciso e dinâmico. Para facilitar a leitura, apesar de muitas delas serem conhecidas no meio militar ligado às comunicações, as mais usadas por cada capítulo serão reproduzidas logo em seu início.

Destaca-se, antecipadamente, que as seguintes serão bastante usadas ao longo de todo este trabalho e reclamam rápida memorização:

- EDT Enlace(s) de Dados Táticos
- FA Forças Armadas
- SisC2 Sistema(s) de Comando e Controle
- TO Teatro de Operações
- RDS-Defesa Rádio Definido por *Software* do Ministério da Defesa
- MDLP-Defesa *Multi Data Link Processor* do Ministério da Defesa

2. INTEROPERABILIDADE

Este capítulo discorre sobre: o conceito de interoperabilidade; os modelos que o MD usa para analisá-la e medi-la; a infraestrutura de comunicações que compõe a base da Interoperabilidade Técnica do MD, por meio da qual os SisC2 interagem; uma melhor definição sobre EDT e seu papel na interoperabilidade entre os SisC2 do nível tático; e um aprofundamento do problema que leva à Questão de Estudo.

Recomenda-se ter atenção às seguintes abreviaturas e siglas ao longo deste capítulo:

– INTERC2	Interoperabilidade de Comando e Controle
– LISI	<i>Levels of Information Systems Interoperability</i>
– ROD	Rede Operacional de Defesa
– SisMC2	Sistema Militar de Comando e Controle
– SISCOMIS	Sistema de Comunicações Militares por Satélite

2.1 Conceito

O termo interoperabilidade tem raízes em sua própria etimologia, em que prefixo, radical e sufixo cooperam semanticamente para denotar a capacidade de interoperar, de interagir, de trabalhar em conjunto. Pessoas, sistemas ou instituições que interagem progridem e atingem a proficiência para superar as adversidades do ambiente laboral. A simplicidade dessa definição, todavia, esconde o arcabouço exigido para interoperar.

O National Research Council (1999) defende que interoperabilidade é um assunto amplo e complexo, não apenas a condição de um sistema interagir ou não com outro sistema. Interoperabilidade, no contexto militar, envolve elementos tangíveis e intangíveis. O Glossário das Forças Armadas tem esse entendimento ao associar um alto grau de interoperabilidade das forças militares a um emprego ótimo de recursos humanos e a um elevado nível de padronização de doutrina, procedimentos, documentação e material (BRASIL, 2015c). Interoperabilidade, portanto, extrapola a capacidade de intercambiar serviços ou informações, mas depende dessa capacidade para existir.

A complexidade do assunto incentivou o National Research Council a definir os conceitos de Interoperabilidade Técnica e Interoperabilidade Operacional e a colocar sistemas de comunicações ou equipamentos de comunicações como atores da primeira e sistemas, unidades ou forças como atores da segunda. Nota-se uma estratificação da interoperabilidade

como forma de melhor explorá-la.

Nessa mesma linha de pensamento, Tolk (2003) propôs o modelo de interoperabilidade por camadas, exibido na FIG. 4, que foi adotado pelo MD para estudar e aprimorar a interoperabilidade entre as FA. O modelo é apresentado em sua forma completa, com todas as camadas, e em sua forma reduzida, em que as camadas foram agrupadas em dois grandes blocos, a Interoperabilidade Organizacional e a Interoperabilidade Técnica.



FIGURA 4 – Forma completa do modelo de interoperabilidade de Tolk.
Fonte: TOLK, 2003, p. 18.

A estratificação do modelo confere benefícios, como admitir a identificação e a recuperação de camadas que apresentem alguma deficiência funcional e que sejam as prováveis causas de um problema de interoperabilidade.

O modelo, que também atribui determinadas características a cada camada, facilita a implementação da interoperabilidade nos casos de sua completa ausência, pois permite que as instituições trabalhem por etapas, certificando-se de que todas as características de uma camada foram atingidas antes que os trabalhos sejam aplicados à próxima camada. A versatilidade do modelo, então, facultava-lhe o uso por qualquer instituição, desde aquelas que queiram apenas avaliar e melhorar os níveis de interoperabilidade até aquelas que ainda não a tenham.

Observando-se a FIG.4, repara-se que os dois grandes blocos convergem em um ponto, a camada do Conhecimento/Consciência. Verificando-se o nome atribuído a cada uma das camadas do modelo, percebe-se que as camadas da Interoperabilidade Organizacional caracterizam-se por elementos intangíveis, enquanto as camadas da Interoperabilidade Técnica, por elementos tangíveis. Pode-se interpretar que a convergência em questão tem o objetivo de denotar que, para se atingir a interoperabilidade em sua plenitude, é necessário não apenas conhecer os elementos tangíveis e intangíveis que a compõem, mas também ter

consciência de todos esses elementos.

Destarte, Tolk defende que a interoperabilidade é maximizada quando todas as características das camadas são observadas. Não atingir esse máximo significa que uma ou mais camadas falharam na contribuição do nível final de interoperabilidade, ou seja, uma ou mais características das camadas deixaram de ser observadas. Na visão de Tolk, essas características foram associadas a perguntas. Responder às perguntas permite avaliar o desempenho das camadas e definir o que é necessário implementar para que a interoperabilidade seja aprimorada. O modelo apresenta no mínimo duas perguntas para cada camada, entretanto não se entende que haja uma quantidade determinada de perguntas; elas serão tantas quanto o necessário para que bem se definam as características das camadas. A TAB. 1 exemplifica o exposto, mas transcreve apenas a pergunta que melhor poderia representar o propósito de cada camada do modelo de Tolk.

TABELA 1

Pergunta que melhor poderia representar o propósito de cada camada do modelo de Tolk.

Camada	Pergunta
Objetivos Políticos	Os parceiros compartilham os mesmos valores políticos?
Doutrinas Harmonizadas	As questões de interoperabilidade para as operações alinhadas são aplicáveis no nível estratégico?
Operações Alinhadas	As questões de interoperabilidade para os processos alinhados são aplicáveis aos níveis tático e operacional?
Processos Alinhados	As regras de engajamento ²⁰ estão alinhadas dentro dos níveis táticos das operações?
Conhecimento/Consciência	Há suportes para ferramentas de colaboração e ambientes colaborativos, tais como gerenciadores de fluxos de trabalho e videoconferências?
Interoperabilidade da Informação	Os procedimentos e modelos usados para representar a informação dinâmica podem associar-se entre si?
Interoperabilidade de Modelo de Dados	Modelos de dados padronizados são usados na troca de dados ou informações?
Interoperabilidade de Protocolos	Que protocolos de comunicações são suportados pelas redes?
Interoperabilidade Física	Pode-se estabelecer um procedimento para a troca de dados ou informações?

Fonte: TOLK, 2003, p. 18,19.

Na verdade, a análise do modelo permite compreender que a visão de Tolk não é

²⁰Regras de engajamento são instruções que orientam o emprego das unidades que estão na área de operações, consentindo ou limitando determinados tipos de comportamento, particularmente o uso da força (BRASIL, 2015c).

rígida e as perguntas podem ser substituídas por sentenças que definam explicitamente as características a serem observadas. Pode-se, assim, adaptar as perguntas a realidades específicas dos usuários.

Outro benefício da estratificação do modelo de Tolk é proporcionar independência funcional entre as camadas. É possível compartilhar os mesmos objetivos políticos e harmonizar doutrinas sem ter processos e operações alinhadas. Entretanto, a independência funcional não quebra a dependência operacional entre as camadas, que é necessária para que se atinjam os níveis desejados de interoperabilidade. Essa dependência operacional fica notória nas camadas mais baixas do bloco da Interoperabilidade Técnica. **Sem a Interoperabilidade Física, não há qualquer nível de interoperabilidade, pois não se trocam dados ou informações.** Sem a Interoperabilidade de Protocolos, apesar de haver Interoperabilidade Física, também não se percebe qualquer nível de interoperabilidade, pois dados ou informações ainda não podem ser trocados. Esse mesmo raciocínio é aplicado até a última camada da Interoperabilidade Técnica. Nota-se, portanto, o grau de importância desse bloco: **sem Interoperabilidade Técnica, não se percebe qualquer nível de interoperabilidade, porque dados ou informações não conseguem chegar até o bloco da Interoperabilidade Organizacional.**

Especial atenção deve ser dada à camada da Interoperabilidade Física, por onde dados ou informações são efetivamente trocados. Associam-se a essa camada elementos responsáveis pelas trocas em questão. Esses elementos são, na maioria das vezes, equipamentos de comunicações, como os rádios, mas podem ser também equipamentos que enviam sinais luminosos, como os faróis náuticos, ou sinais sonoros, como os fonoclamas usados em navios. De qualquer forma, tais equipamentos, em face de executarem as funções associadas à camada da Interoperabilidade Física e por serem materiais, elementos físicos, passaram a ser chamados de camada física.

No caso dos rádios, eles tornaram-se a camada física das comunicações em RF, mas os avanços tecnológicos permitiram incorporar-lhes outros elementos, como módulos criptográficos e computadores. Os rádios, então, passaram a criptografar e decifrar dados e a gerenciar trocas de informações. Os próprios rádios, assim, transformaram-se em equipamentos que não eram apenas uma camada física, mas que possuíam uma camada física. O Ministério da Defesa têm esse entendimento ao mencionar as expressões “[...] incompatibilidade entre as camadas físicas dos equipamentos; [...]” (BRASIL, 2015b, p. 37) e “[...] criar compatibilidade entre as camadas físicas dos equipamentos [...]” (BRASIL, 2015b, p. 40).

Deve-se compreender, doravante, que a camada física sempre denotará o elemento responsável pela troca de dados ou informações e estará incumbida de prover a Interoperabilidade Física.

Neste trabalho, a camada física associa-se a rádios, quando os dados trafegarem em RF, ou a computadores, quando os dados trafegarem por LAN (*Local Area Network* ou Rede Local)²¹ ou WAN (*Wide Area Network* ou Rede de Área Ampla).²²

Não se pode esquecer do modelo LISI, adotado por Tolk e pelo MD para se medir a interoperabilidade. A TAB. 2 detalha os aspectos dos níveis desse modelo.

Percebe-se que o LISI, bem como o modelo de Tolk, permite adaptações, que podem deixá-lo mais aderente à realidade do usuário. Dessa forma, níveis podem ser suprimidos ou acrescentados, e suas características podem ser alteradas para refletirem, com mais fidelidade, a situação real dos sistemas de comunicações empregados.

TABELA 2
Níveis de interoperabilidade de acordo com o modelo LISI.

Nível	Tipo de Ambiente	Características
0 Isolado	Manual	Sistemas não conectados eletronicamente, em que a transferência de informações é feita por mídias removíveis, que são transportadas pela ação humana.
1 Conectado	Ponto a Ponto	Sistemas conectados eletronicamente, mas apenas bilateralmente, em que a troca de informações é feita por aplicações e processos que se comunicam de forma simples.
2 Funcional	Distribuído	Sistemas conectados por LAN, em que a troca de informações é feita por aplicações e processos capazes de se comunicarem dentro de uma rede.
3 Domínio	Integrado	Sistemas conectados por WAN, em que a troca de informações é feita por aplicações e processos capazes de se comunicarem entre redes, que podem estar agrupadas por domínios e povoadas por múltiplos usuários.
4 Empreendimento	Universal	Sistemas conectados por topologias multidimensionais, em que a troca de informações é feita por aplicações e processos complexos e capazes de se comunicarem entre múltiplas topologias de redes, com múltiplos domínios e usuários.

Fonte: TOLK, 2003, p. 3.

O exposto ratifica o quão amplo e complexo é o processo para obter ou medir o nível de interoperabilidade desejado. Dessarte se questiona: por que a interoperabilidade é

²¹ LAN é uma rede de dados local, que interconecta computadores dentro de uma área limitada, como uma casa, um escritório ou uma escola.

²² WAN é uma rede de dados que interconecta computadores dentro uma extensa área geográfica. A WAN é usada para interconectar muitas LAN.

importante? O National Research Council (1999) entende que: expressivas melhorias na efetividade operacional de forças militares são conseguidas com SisC2 altamente capazes, que promovam uma consciência situacional fidedigna e homogênea, agilizem a tomada de decisões e mudem o ritmo, a natureza e o alcance dos engajamentos; e a interoperabilidade é a chave para que isso seja atingido.

2.2 Sistema(s) de Comando e Controle (SisC2)

SisC2 é definido como um conjunto de instalações, equipamentos, sistemas de informação e apoio à decisão,²³ comunicações, doutrinas, procedimentos e pessoal. Esse conjunto de elementos tangíveis e intangíveis são imprescindíveis e interdependentes para que se conclua o processo decisório²⁴ (BRASIL, 2015a, b).

No nível estratégico das FA, o conjunto dos SisC2 de cada uma delas está representado pelo Sistema Naval de Comando e Controle (SisNC2), o Sistema de Comando e Controle da Força Terrestre (SisC2FTer) e o Sistema de Comando e Controle da Força Aérea Brasileira (SisC2FAB); no nível estratégico do MD, seu SisC2 é o Sistema Militar de Comando e Controle (SisMC2), que engloba o SisNC2, o SisC2FTer, o SisC2FAB, a Rede Operacional de Defesa (ROD) e os seguintes sistemas de informação e apoio à decisão: o Sistema de Planejamento Operacional Militar (SIPLOM),²⁵ o Portal de Inteligência Operacional (PIOP)²⁶ e o Sistema de Logística Militar do Ministério da Defesa (SIGMLD)²⁷ (BRASIL, 2015b, p. 17).

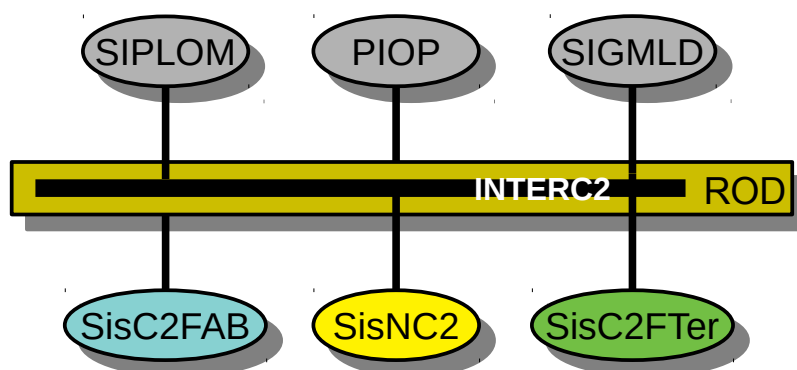


FIGURA 5 – SisMC2 interligado pela ROD.

23 Sistemas de informação e apoio à decisão podem ser entendidos como sistemas que trocam e gerenciam dados e fornecem subsídios para o processo decisório.

24 Processo decisório é aquele que permite a formulação e o cumprimento de ordens.

25 Sistema responsável pela aquisição e manutenção da consciência situacional acerca de um espaço geográfico necessário à condução de operações militares (BRASIL, 2015b, p. 64).

26 Sistema responsável pelo armazenamento e disponibilização de recursos de inteligência, como relatórios e imagens (BRASIL, 2015b, p. 64).

27 Sistema responsável pelo planejamento de logística e mobilização nacionais (BRASIL, 2015b, p. 64).

A FIG. 5 representa o exposto e mostra a ROD como a infraestrutura de comunicações que interliga os elementos que compõem o SisMC2. Nota-se um barramento de comunicações que integra a ROD, ao qual conectam-se o SIPLOM, o SIGMLD, o SisNC2 e o SisC2FTer. Esse barramento chama-se INTERC2,²⁸ está detalhado em Botelho *et al.* (2015) e foi desenvolvido pelo CASNAV para contribuir com a interoperabilidade do SisMC2. O SisC2FAB e o PIOP ainda não estão conectados ao INTERC2.

Verifica-se, desse modo, que o SisMC2, gerido pelo Estado-Maior Conjunto das Forças Armadas, é um Sistema de Sistemas (SdS), uma reunião de sistemas independentes que provê capacidades difíceis de serem obtidas se cada sistema atuasse individualmente (BRASIL, 2015b). De fato, SisC2FAB, SisNC2 e SisC2FTer são sistemas autônomos, que têm a necessidade de adotar soluções peculiares para atenderem às especificidades de seus ambientes operacionais. Essas soluções estão sujeitas a contínuas evoluções tecnológicas que influenciam doutrinas e requisitos, logo gerenciar a interoperabilidade de um SdS é tarefa que exige constantes avaliações e revisões. Melhor se compreende, assim, a decisão do MD de adotar o modelo estratificado de Tolk para aprimorar a interoperabilidade do SisMC2.

Aplicando-se o modelo de Tolk, é possível identificar que as duas primeiras camadas da Interoperabilidade Técnica do SisMC2 são implementadas pela ROD, que se resume a uma WAN, composta pelas redes de dados das FA (RECIM, EBNET e INTRAER),²⁹ pelo Sistema de Comunicações Militares por Satélites (SISCOMIS), pela Internet³⁰ e pelo INTERC2. A FIG. 6 elucida essa infraestrutura.

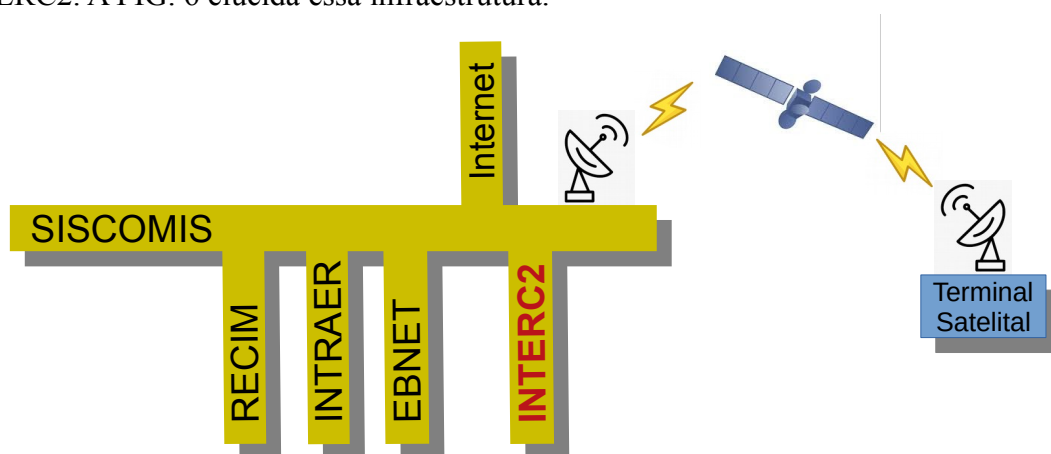


FIGURA 6 – Infraestrutura da ROD.

²⁸O projeto Interoperabilidade de Comando e Controle (INTERC2) foi iniciado em 2013 e tinha como escopo a implementação de uma arquitetura para a troca de mensagens entre os SisC2 das Forças e o SIPLOM (BOTELHO *et al.*, 2015). O INTERC2 transformou-se em um barramento de serviços e já está em operação.

²⁹RECIM, EBNET e INTRAER são as infraestruturas de comunicações dos SisNC2, SisC2FTer e SisC2FAB respectivamente. Elas também são consideradas WANs.

³⁰Sistema global que interliga milhões de rede de computadores espelhadas pelo mundo.

A ROD emprega o SISCOMIS como principal canal de tráfego de dados do SisMC2, deixando as redes de dados das FA e a Internet como canais alternativos (BRASIL, 2015b). A ROD não emprega o INTERC2 como canal de tráfego, mas como um barramento de comunicações ao qual os canais mencionados podem se conectar.

O SISCOMIS é composto por: um segmento terrestre, formado por cabeamentos UTP³¹ e enlaces³² de fibras óticas e de rádios³³ que interligam elementos de rede; e por um segmento espacial, formado por enlaces satelitais³⁴ que interligam estações terrenas a terminais (BRASIL, 2015b). O segmento espacial provê flexibilidade ao SISCOMIS, pois seus terminais podem ser empregados em meios móveis navais, terrestres e aeronáuticos. Isso implica que a cobertura da ROD pode ser estendida até o limite de cobertura dos satélites que se comunicam com seus terminais. Esse conceito terá importante influência no envio da consciência situacional do TO ao nível estratégico.

2.3 Enlace(s) de Dados Táticos (EDT)

O termo “enlaces de dados” refere-se a todas as tecnologias, aplicações e mensagens usadas em sistemas de comunicações, portanto os EDT representam os enlaces de dados usados como suporte às ações militares em um determinado local de operações (STOICA *et al.*, 2016).

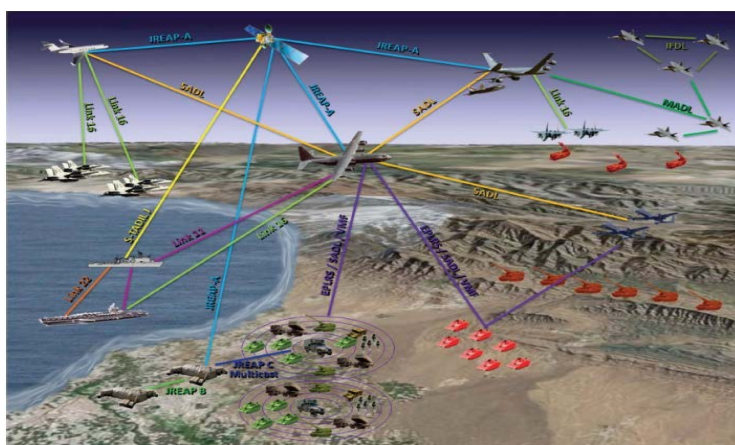


FIGURA 7 – Exemplos de EDT.

Fonte: STOICA *et al.*, 2016, p. 317.

31 O cabeamento UTP (*Unshielded Twisted Pair* ou Par Trançado Não Blindado) é muito usado para interligar elementos em uma LAN por seu baixo custo, sua facilidade de instalação e sua boa capacidade de transmissão de dados.

32 O termo refere-se ao estabelecimento de comunicações por algum meio físico ou por radiofrequência.

33 Enlace de rádio é um tipo de comunicação que usa RF, geralmente na faixa de micro-ondas, para interligar duas antenas que funcionam tanto para transmissão como para recepção.

34 O adjetivo “satelital” não está dicionarizado, mas é um jargão técnico muito usado na área de telecomunicações e denota a característica de estar ligado a um satélite.

A FIG. 7 exemplifica o uso de vários EDT, em que se percebe um grande volume de dados disponíveis para o planejamento de ações e a tomada de decisões. Um número cada vez maior de equipamentos geograficamente dispersos gera informações variadas que devem chegar, no menor tempo possível, aos diferentes locais onde se encontra o topo de todos os níveis do processo decisório, envolvendo-se, portanto, além do nível tático, os níveis operacional, estratégico e político. Nota-se a importância de os EDT gerarem informações, eliminarem as distâncias entre os decisores e o local onde se desenrolam as ações militares e manterem-se conectados para que as informações sejam distribuídas entre os componentes dos enlaces.

MB, EB e FAB operam EDT que têm características distintas em face dos requisitos peculiares de seus ambientes operacionais. Apesar dessas distinções, os EDT possuem conceitos operacionais comuns e básicos³⁵: trocar mensagens entre seus componentes por meio de equipamentos de comunicações, que ficam submetidos a um controle para se evitarem as colisões³⁶ entre as mensagens recebidas por cada componente. Link 22 e Link16 (STOICA *et al.*, 2016), os EDT mais modernos em uso na OTAN (Organização do Tratado do Atlântico Norte), observam **esses conceitos básicos, que, porém, não garantem a interoperabilidade entre os EDT.**

É importante esclarecer que as mensagens de fonia, transmitidas de forma analógica ou digital pelos equipamentos de comunicações não podem ser classificadas como mensagens táticas trocadas por EDT.

Nos EDT, geralmente, todos os seus componentes, também chamados de nós, precisam ter a consciência situacional do ambiente operacional, assim eles são equipados com aplicativos que sintetizam as mensagens em informações gráficas. Pode-se considerar que esses nós são SisC2 do nível tático.

A FIG. 8 representa três EDT em que as elipses são enlaces de comunicações, as esferas são nós pertencentes ao enlace e os cilindros são indicadores de que seus nós operam como SisC2 táticos. Os nós pertencentes a um mesmo enlace comunicam-se entre si, trocando mensagens táticas. Na FIG. 8a, os EDT não se comunicam, portanto não há Interoperabilidade Técnica entre eles, e os SisC2 de EDT diferentes só conseguem atingir o nível 1 de interoperabilidade se trocarem informações por fonia. Na FIG. 8b, os EDT azul e verde comunicam-se porque o nó comum, de cor preta, funciona como um *gateway*³⁷ entre eles,

35 O escopo deste trabalho não exige discorrer sobre todos os conceitos operacionais dos EDT.

36 Colisões acontecem quando um nó recebe mais de uma mensagem ao mesmo tempo e na mesma frequência, impedindo que o sistema de recepção do nó interprete as mensagens recebidas.

37 Elemento que interconecta redes com características diferentes de funcionamento.

permitindo que os SisC2 de ambos os EDT interoperem.

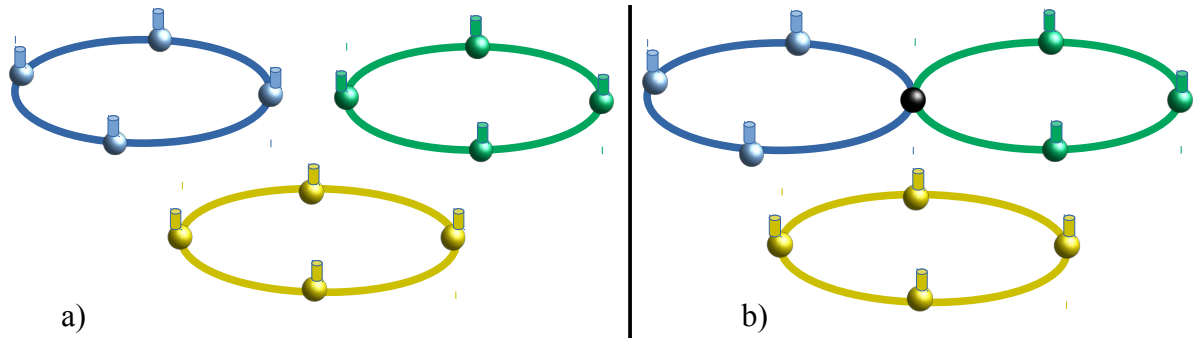


FIGURA 8 – Representação de três EDT que têm nós como SisC2 do nível tático.

a) EDT não se comunicam entre si.

b) Dois EDT comunicam-se por meio de um nó que funciona como *gateway*.

Tomando-se por base a FIG. 6 e a possibilidade de o segmento espacial do SISCOMIS estender a cobertura da ROD até o limite de cobertura dos satélites, chega-se à FIG. 9, em que se percebem **dois tipos de ambientes: o segmento terrestre da ROD, com infraestrutura de comunicações permanente das FA, e o TO, ambiente operacional com infraestrutura de comunicações *ad hoc*,³⁸ que se compõe transitoriamente e sob demanda e que se liga à ROD pelo segmento espacial do SISCOMIS.**

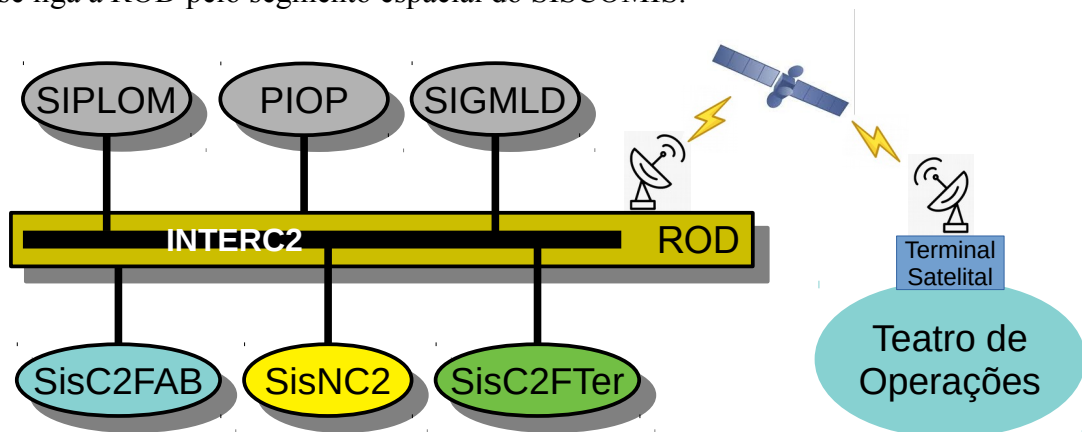


FIGURA 9 – O TO conectado à ROD pelo segmento espacial do SISCOMIS.

Há ainda a possibilidade de o TO conectar-se à ROD por um canal diferente do segmento espacial do SISCOMIS. Dependendo da distância do TO ao segmento terrestre da ROD, tal conexão poderia ser efetuada por enlaces de radiofrequência nas faixas de HF³⁹ e VHF, entretanto essa capacidade não está implementada, embora as FA possuam infraestruturas de comunicações em HF e VHF.

³⁸Em redes de comunicação, o termo *ad hoc* é usado para denotar uma estrutura temporária, em que os nós comunicam-se entre si e podem alterar constantemente suas posições (TANEMBAUM, 2003).

³⁹No espectro eletromagnético, a faixa de HF (*High Frequency*) cobre frequências entre 3 MHz e 30 MHz. Logo depois, estão as faixas de VHF (*Very High Frequency*), de 30 MHz a 300 MHz, e a de UHF (*Ultra High Frequency*), de 300 MHz a 3 GHz.

As mensagens táticas que promovem a consciência situacional do TO são fornecidas pelos EDT em atuação nessa área operacional. Quanto maior a interoperabilidade entre os EDT, mais homogênea e fidedigna será a consciência situacional e menos riscos correrão as forças militares engajadas nas operações.

As circunstâncias permitem concluir que um Terminal Satelital componente de algum meio naval, aeronaval ou terrestre terá condições de transmitir, por meio do segmento espacial do SISCOMIS, a consciência situacional do TO ao nível estratégico do SisMC2, que está conectado ao segmento terrestre da ROD, ambiente com infraestrutura de comunicações permanente das FA.

2.4 A Falta de Interoperabilidade entre os EDT das FA

O desenvolvimento de todos os sistemas componentes do SisMC2 ocorreu na ambiência de cada uma das FA, de forma a atender a requisitos voltados para suas especificidades. Não obstante, o SisMC2 deve buscar a interoperabilidade dos SisC2 e das redes de dados com a finalidade de contribuir para a obtenção da consciência situacional nos diversos níveis decisórios (BRASIL, 2015b).

Visando a aprimorar a interoperabilidade do SisMC2 com o menor nível possível de interferência nos sistemas legados, o MD propôs a adoção da arquitetura mostrada na FIG. 10, que permite o compartilhamento automático das informações de interesse comum dos SisC2 e padroniza o modelo de dados a ser usado nesse compartilhamento (BRASIL, 2015b). A arquitetura em questão deu origem ao INTERC2, que passou a integrar a ROD, portanto pode-se considerar que a interoperabilidade entre o SIPLOM e os SisC2 das FA que estão conectados ao INTERC2 (FIG. 5 e 9) já atinge o nível 3.

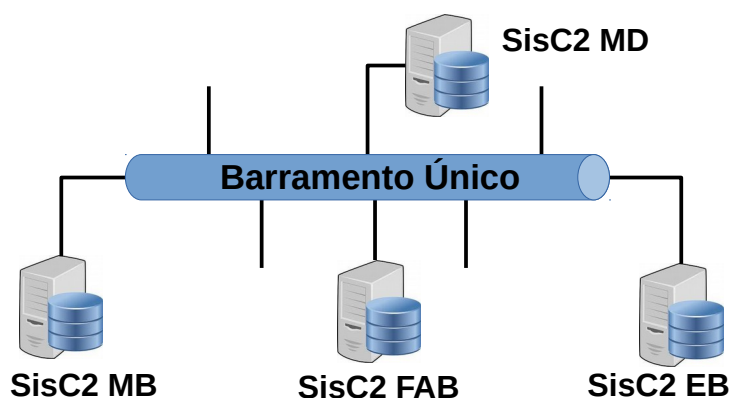


FIGURA 10 – Arquitetura de Barramento Único que deu origem ao INTERC2.

Fonte: BRASIL, 2015b, p. 55.

A implantação do INTERC2 limitou-se ao segmento terrestre da ROD. No TO, Os EDT, elementos responsáveis pelo compartilhamento automático das informações entre os SisC2 táticos, permaneceram com o nível 0 de interoperabilidade, enquadrando-se na situação mostrada na FIG. 8a. Acrescenta-se ainda:

Para incrementar a capacidade de combate das Forças Armadas, é essencial um sistema de intercâmbio de dados e mensagens ágil, robusto e seguro, capaz de permitir o trâmite de informações em um cenário operacional conjunto, para emprego operacional e tático. Essa solução, quando completamente implantada, deverá dotar as Forças Armadas da capacidade de integrar seus processos de planejamento, direção, coordenação e controle por meio do compartilhamento de informações (BRASIL, 2015b, p. 31).

Nesse sentido, o MD criou um grupo de trabalho para implementar o Sistema Tático de Enlace de Dados (SISTED), que compreende o conjunto dos enlaces de dados estabelecidos entre as FA e cuja finalidade é o intercâmbio de mensagens táticas entre todos os enlaces, sem interferências mútuas, para que as ações sejam conduzidas com eficiência e eficácia (BRASIL, 2015b).

Os trabalhos do SISTED, todavia, concentraram-se nas camadas da Interoperabilidade Organizacional, e nada foi implementado na Interoperabilidade Técnica, deixando a interoperabilidade dos EDT ainda no nível 0 e permitindo ao SisMC2, no máximo, o nível 1 se for considerado que os SisC2 táticos troquem informações por fonia.

O SISTED é um dos componentes do SisMC2 (BRASIL, 2015b), mas sua representação nas FIG. 5, 6 e 9 foi omitida por ele ter atuado apenas nas camadas da Interoperabilidade Organizacional.

A falta de Interoperabilidade Técnica entre os EDT das FA prejudica a robustez da consciência situacional do TO e, conseqüentemente, compromete o desempenho de todos os níveis decisórios, desde o tático até o político, vulnerabilizando o SisMC2 e lhe impedindo de atingir o nível 3 de interoperabilidade determinado pelo MD. Agravam esse contexto a natureza *ad hoc* das comunicações no TO e a necessidade de se preservarem os investimentos já realizados nas infraestruturas de comunicações dos sistemas legados.

Apesar das adversidades apontadas, dois projetos do MD em desenvolvimento, o RDS-Defesa e o MDLP-Defesa, são fatores positivos que integram também o contexto em questão e que, combinados e devidamente explorados, podem ser os alicerces de uma solução para a falta de interoperabilidade entre os EDT das FA.

3. O RÁDIO DEFINIDO POR SOFTWARE DO MINISTÉRIO DA DEFESA

Neste capítulo, serão abordados os conceitos e características do projeto RDS-Defesa e por que ele é considerado um fator positivo para suplantar a falta de Interoperabilidade Técnica entre os EDT das FA.

Recomenda-se ter atenção às seguintes abreviaturas e siglas ao longo deste capítulo:

- FO Forma de Onda
- RF Radiofrequência

3.1 Rádio Definido por Software (RDS)

O Wireless Innovation Forum (2020) interpreta o RDS como um equipamento que implementa as funções de comunicações em radiofrequência por meio de programas computacionais, que são chamados de *software*. A FIG. 11 ajuda a compreender esse conceito e mostra o diagrama em blocos de um RDS genérico, composto por um computador, que executa o *software*, e uma interface de RF, que promove as transformações necessárias para as informações trafegarem entre o computador e a antena.

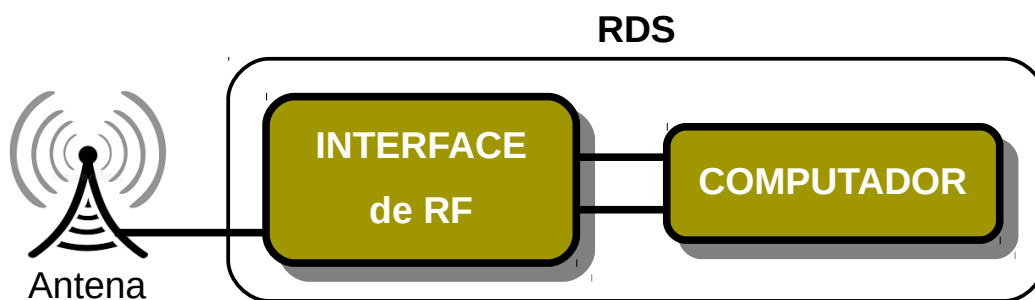


FIGURA 11 – Um RDS genérico conectado a uma antena.

O RDS é a evolução tecnológica do rádio convencional, ou rádio de *hardware*,⁴⁰ cujas capacidades de comunicações em radiofrequência eram totalmente implementadas por componentes eletrônicos; os elementos de *software* compunham uma parcela restrita do equipamento e desempenhavam funções acessórias.

O rádio convencional era um equipamento limitado, projetado para cumprir determinados requisitos operacionais. Isso gerava dificuldades logísticas para as operações que ocorressem em ambientes com características de comunicações que exigissem requisitos

⁴⁰ A expressão “rádio de *hardware*” ou “rádio definido por *hardware*” não é comum, mas passou a ser usada depois do advento do RDS, para classificar os rádios convencionais.

operacionais distintos, pois seriam necessários diferentes tipos de rádio.

O RDS conseguiu por fim a esse problema logístico. Não mais se exige a substituição do rádio; basta a troca do *software*, que pode ser feita no próprio ambiente operacional. Essa é apenas uma das vantagens do RDS; a mais importante é sua capacidade de prover eficiência às comunicações táticas e aumentar o nível de interoperabilidade entre as FA.

A essência do RDS fundamenta-se em sua independência do *hardware*, que não é total se for considerada a interface de RF. Nessa interface, resumidamente, são executadas as seguintes funções: conversão da informação de RF da antena em informação digital⁴¹ para o computador e conversão da informação digital do computador em informação de RF para a antena. O RDS, assim, limita sua operação à faixa de frequências em que a interface de RF consegue trabalhar. Essa limitação é intrínseca a qualquer tipo de rádio atual, seja RDS ou não, e deve-se às leis do eletromagnetismo aplicadas aos elementos irradiantes, chamados de antenas.

A versatilidade do RDS alicerça-se na sua definição por *software*, mas rádios dessa natureza apresentam-se completamente vulneráveis se seus programas computacionais contiverem códigos maliciosos que permitam o controle do rádio por agentes externos e não autorizados. Isso pode acontecer em equipamentos estrangeiros, em que é impossível analisar os códigos dos programas embarcados nem tampouco as suas funcionalidades. Descortina-se também uma perigosa dependência estratégica ao não se garantir que os fornecedores prestariam tempestivamente as manutenções necessárias ou cobrariam preços acessíveis por elas. Corroboram esse entendimento Filho *et al.* (2017), que ainda alertam quanto à suscetibilidade de um RDS importado a diversos tipos de ataques cibernéticos, hajam vista as fragilidades de segurança que não se podem eliminar e que tem potencial de gerar prejuízos ao cenário operacional se conflitos forem travados com o país fabricante do equipamento ou com seus aliados.

Questões como insegurança cibernética, dependência estrangeira, dificuldades de manutenções, custos e oportunidades de domínio tecnológico, abordadas em Filho *et al.* (2017), foram fatores presentes no processo que definiu como estratégico reunir as três FA, discutir seus requisitos operacionais e iniciar do programa de pesquisa e desenvolvimento do RDS-Defesa.

⁴¹Digital é a linguagem binária entendida pelos computadores convencionais. Atualmente já existem os computadores quânticos, ainda experimentais, que usam os **qubits**, uma linguagem bem diferente da binária tradicional.

3.2 O RDS-Defesa

O projeto RDS-Defesa foi formalmente iniciado em 9 de agosto de 2012, pela Portaria nº 2.110 do MD, com participação das três Forças e coordenação do EB.

O RDS-Defesa não surgiu em razão da potencial vulnerabilidade cibernética gerada pelos equipamentos estrangeiros, nem pela oportunidade de empresas da Base Industrial de Defesa (BID) brasileira dominarem a tecnologia em questão. Esses elementos, como já mencionado, foram os motivos para se desenvolver o RDS-Defesa no Brasil. Problemas como a falta de interoperabilidade entre os equipamentos de comunicações das FA e, principalmente, entre seus EDT geraram a necessidade de se ter um rádio comum, que permitisse suplantiar a diversidade de camadas físicas e a incapacidade de se proverem comunicações criptografadas entre quaisquer dos envolvidos. O seguinte trecho reforça essa assertiva:

Dessa forma, devem ser consideradas soluções de interoperabilidade que atendam aos seguintes objetivos:

- a) criar compatibilidade entre as camadas físicas dos equipamentos utilizados pelas forças armadas;
- b) criar compatibilidade entre as camadas lógicas dos sistemas, incluindo protocolos de comunicação e de criptografia (utilizada por diversos equipamentos de comunicações das FA) (BRASIL, 2015b, p. 40).

Detendo os argumentos que o respaldavam, o RDS-Defesa começou seu desenvolvimento no Centro Tecnológico do Exército, com participação integral de militares da MB.



FIGURA 12 – O protótipo veicular do RDS-Defesa.
a) Com duas interfaces de RF.
b) Com apenas uma interface de RF.

Depois de quase nove anos de esforços ininterruptos em implementações de *hardware* e *software*, o protótipo veicular⁴² do RDS-Defesa será concluído em dezembro de 2022 e está mostrado na FIG. 12, em duas versões que seguem o princípio do RDS genérico

⁴² O protótipo veicular será instalado em navios, viaturas e organizações militares de terra.

da FIG. 11. A versão da FIG. 12a possui um computador, que ocupa o módulo do centro, e duas interfaces de RF, que ocupam os módulos das extremidades, podendo operar como dois rádios completamente independentes em uma única plataforma física. Embora a versão da FIG. 12b possua um computador e uma interface de RF, constituindo apenas um rádio, seu menor tamanho a credencia a empregos em que se limitam o espaço e o peso.

Ambas as versões do RDS-Defesa operam com dois tipos de interfaces de RF: uma na faixa de HF, usada para cobrir distâncias de centenas ou milhares de quilômetros; e outra na faixa de V/UHF,⁴³ usada para comunicações em linha de visada,⁴⁴ que cobrem distâncias menores do que 100 quilômetros.

O protótipo veicular apresenta modularidade, uma característica logisticamente interessante, que se explica pelo mesmo tamanho das duas interfaces de RF, tanto a de HF e como a de V/UHF, e pela possibilidade de ambas ocuparem qualquer espaço a elas destinado na base do rádio. Isso permite à versão da FIG. 12a configurar-se de três formas: duas interfaces de HF; duas de V/UHF; ou uma de HF e uma de V/UHF.

Embutida no módulo do computador, encontra-se a unidade de criptografia do RDS-Defesa, em que estão instalados os algoritmos criptográficos desenvolvidos pelo CASNAV. A unidade de criptografia foi projetada com capacidade para suportar a instalação futura de algoritmos pós-quânticos.⁴⁵

Estanciam-se, no computador, os elementos de *software* do RDS-Defesa, mostrados na FIG. 13. Entre eles, a Forma de Onda (FO) é a mais importante, pois caracteriza o rádio e estabelece as capacidades de comunicações em radiofrequência. O Sistema Operacional é usual de todo computador e não será comentado. A *Software Communication Architecture* (SCA)⁴⁶ é uma infraestrutura de código aberto criada pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América por meio do programa *Joint Tactical Radio System*.⁴⁷

Pragmaticamente,⁴⁸ a SCA foi concebida para atuar como uma interface que isola a FO do sistema operacional, deixando-a independente do computador do rádio. O objetivo de

43 Usa-se o acrônimo V/UHF para denotar uma faixa que vai de 30 MHz a 512 MHz, cobrindo VHF e o início de UHF.

44 A linha de visada é uma linha imaginária que une as duas antenas envolvidas em uma comunicação de RF. Essa linha imaginária não pode ser interceptada por obstáculos.

45 A construção dos algoritmos pós-quânticos visa a resistir ao poder de processamento dos computadores quânticos, que facilmente quebrarão os algoritmos convencionais atualmente em uso. Informações disponíveis em: <http://www.fsma.edu.br/si/edicao7/FSMA_SI_2011_1_Tutorial_1.pdf>. Acesso em 29 mai. 2021.

46 *Software Communication Architecture* traduz-se como Arquitetura de Comunicação por Software, mas o acrônimo SCA passou a ser amplamente usado nos textos em português.

47 <<https://www.jstor.org/stable/pdf/10.7249/j.ctt14bs3w4.9.pdf>>. Acesso em 30 mai. 2021.

48 A empresa NordiaSoft, importante empresa que desenvolve a SCA, apresenta uma rápida visão teórica sobre essa infraestrutura em <<https://nordiasoft.com/software-communications-architecture/>>. Acesso em 17 ago. 2021.

tal isolamento é conferir portabilidade à FO e permitir que ela seja instalada em qualquer RDS que empregue o padrão SCA, independentemente de seu fabricante. Essa característica facilita a interoperabilidade entre equipamentos de comunicações.

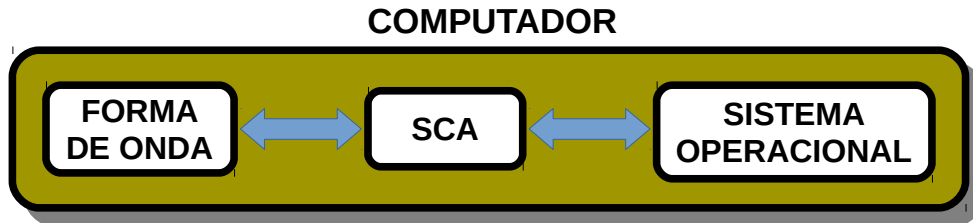


FIGURA 13 – Elementos de *software* do RDS-Defesa.

Conhecidos os elementos de software do RDS-Defesa, deduz-se que, na FIG. 12a, o computador processa duas FO simultaneamente, vinculando cada uma delas à sua respectiva interface de RF e produzindo dois rádios independentes. A FIG. 14 deslinda o exposto.



FIGURA 14 – O RDS-Defesa com duas interfaces de RF: dois rádios independentes em uma única plataforma física.

3.3 RDS-Defesa como Fator Positivo

Retomando-se o modelo de camadas de Tolk, associa-se o RDS-Defesa à camada de Interoperabilidade Física, na base da Interoperabilidade Técnica. A FIG. 15 alude a associação.

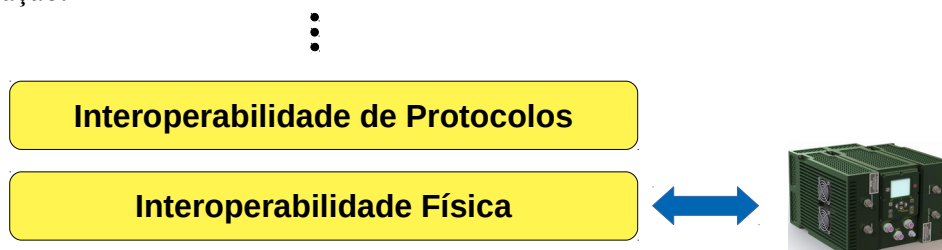


FIGURA 15 – O RDS-Defesa atua na base da Interoperabilidade Técnica.

Assim posto, o RDS-Defesa pode ser usado para criar compatibilidade na camada da Interoperabilidade Física, resolvendo o revés de interoperabilidade mais básico, que impede o início da troca de informações. Salienta-se que a camada imediatamente superior, a

Interoperabilidade de Protocolos, não foi contemplada.

Afirma-se que o RDS-Defesa será a camada física da interoperabilidade das FA. Tal afirmação respalda-se nos parágrafos anteriores e na facilidade de o rádio alterar suas capacidades de comunicações pela simples troca de uma FO. A FIG. 16 sedimenta esse entendimento ao retratar, hipoteticamente, o deslocamento de três Forças diferentes para o TO. Os meios dessas Forças, representados por esferas, operam com o RDS-Defesa, mas, no TO, eles atuarão conjuntamente e precisarão de Interoperabilidade Física. As cores das esferas denotam o uso de determinada FO. Na FIG. 16a, as Forças rumam para o TO e cada uma delas usa uma FO diferente, que permite aos meios de uma Força se comunicarem apenas entre si, sem interação com as outras duas Forças. Na FIG. 16b, os meios já se encontram no TO e todos trocam suas FO por uma comum, de cor preta, que promove a Interoperabilidade Física, mas alguns deles, que possuem duas cores, operam simultaneamente com as FO de suas Forças originais para se comunicarem com meios que estão fora do TO. Acrescenta-se ao contexto a capacidade de os meios criptografarem as trocas de informações. Percebe-se um exemplo de o RDS-Defesa operando simultaneamente com duas FO distintas e provendo comunicações criptografadas.

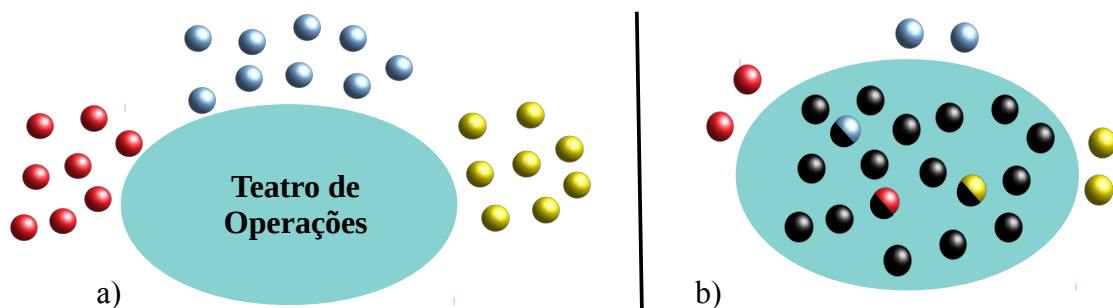


FIGURA 16 – Três Forças em operações conjuntas no TO.

a) As Forças rumam para o TO, sem interoperabilidade.

b) Os meios que estão no TO atingem a Interoperabilidade Física, mas mantém as comunicações com meios fora do TO.

Reitera-se que a FIG. 16 não se preocupou com as características de uma operação conjunta real e teve o objetivo de retratar que a simples troca de uma FO do RDS-Defesa pode permitir a Interoperabilidade Física. Durante o desenrolar de operações conjuntas reais, prevê-se que a interoperabilidade das comunicações ocorra antes de se atingir o TO, o que exige o planejamento prévio da dinâmica das comunicações. Esse planejamento ocorre no nível operacional e pode ser feito com a ferramenta “Planejamento de Missões”, que foi desenvolvida no projeto RDS-Defesa e permite a definição de todas as FO a serem aplicadas durante a operação.

Existe ainda um atributo da FO a mencionar: a sua capacidade de controlar o acesso ao meio eletromagnético, aspecto imprescindível para o funcionamento dos EDT. O controle de acesso ao meio visa a evitar as colisões entre as transmissões dos equipamentos de comunicações. Existem técnicas tradicionais de controle; a mais usada pelos EDT é o TDMA.⁴⁹

Em face do exposto, destaca-se que as capacidades de processar simultaneamente duas FO independentes, de criptografar dados, de usar a FO para controlar o acesso ao meio eletromagnético e de alterar as funções de comunicações em radiofrequência pela simples troca da FO são aspectos do RDS-Defesa que o credenciam como fator positivo para compor uma arquitetura de comunicações que promova a Interoperabilidade Técnica entre os EDT das FA.

⁴⁹O *Time Division Multiple Access*, ou Acesso Múltiplo por Divisão de Tempo, é um controle de acesso ao meio em que fatias de tempo são atribuídas aos rádios que querem efetuar as suas transmissões. Durante a fatia de tempo de um rádio, qualquer outro não pode transmitir.

4. O MULTI DATA LINK PROCESSOR DO MINISTÉRIO DA DEFESA

Neste capítulo, serão abordados os conceitos e características do projeto MDLP-Defesa e por que ele, assim como o RDS-Defesa, é considerado um fator positivo para suplantarmos a falta de Interoperabilidade Técnica entre os EDT das FA.

Recomenda-se ter atenção às seguintes abreviaturas e siglas ao longo deste capítulo:

– INTERC2	Interoperabilidade de Comando e Controle
– <u>sis</u>	Sistema do Conjunto Sistema e Rádio dos EDT
– <u>sis-rad</u>	Conjunto Sistema e Rádio dos EDT
– SISTED	Sistema Tático de Enlace de Dados
– <u>rad</u>	Rádio do Conjunto Sistema e Rádio dos EDT

4.1 Processador de Múltiplos Enlaces de Dados

A expressão “Processador de Múltiplos Enlaces de Dados” é a tradução de *Multi Data Link Processor*, ou simplesmente MDLP, um termo já consagrado no ambiente do MD e das FA brasileiras.

Um MDLP não é um conceito novo. Forças militares que operam com mais de um EDT empregam-no para garantir a interoperabilidade entre todos os seus enlaces. A OTAN, por exemplo, adota o Link 16 e o Link 22 em manobras conjuntas, mas seus países-membros têm seus próprios EDT, que atendem a necessidades operacionais específicas de cada país.

No mercado⁵⁰ de comunicações internacional, fornecem soluções desse tipo empresas como Collins Aerospace, BAE Systems, Thales Group, Elbit Systems, SCYTALYS Interoperability Systems e Curtiss Wright Defense Solutions. O mercado de comunicações do Brasil ainda é incipiente no assunto MDLP, fato que não permitiu encontrar soluções nacionais já produzidas ou em produção.

A SCYTALYS oferece o Universal Link System (ULS).⁵¹ Conforme apregoa a empresa, o ULS é um sistema cujas capacidades, tecnologias e características estão no estado da arte,⁵² foram desenvolvidas ao longo de anos e beneficiaram-se das experiências que mais de doze países acumularam usando seus EDT e testando soluções de interoperabilidade. O

⁵⁰ O mercado de comunicações pode ser entendido como o conjunto de organizações que exercem atividades comerciais na área de comunicações.

⁵¹ <<https://www.scytalys.com/products-3/universal-link-system-data-link-processors>>. Acesso em: 5 jun. 2021.

⁵² Entende-se estado da arte como o nível mais alto atribuído a um processo de desenvolvimento.

sistema inclui o MDLP-ULS, um módulo com capacidade de gerenciar os Links 16 e 22 e outros EDT com características específicas.

A Curtiss Wright oferece o TCG HUNTR.⁵³ Consoante ao que indica a empresa, o TGG HUNTR é um *gateway* que atua, com extensa automação, na tradução completa e inteligente de múltiplos EDT, suportando vários rádios e protocolos de comunicações e provendo vantagens táticas à consciência situacional e às atividades de comando e controle.

A Rockwell Collins oferece o Rosetta Technology.⁵⁴ De acordo com a empresa, o Rosetta é uma ferramenta de integração de dados que permite maximizar a consciência situacional, aproveitando todo o potencial do fluxo de dados das operações táticas. Agregando interfaces de *hardware* e *software* que lhe permitem trabalhar com múltiplos protocolos de comunicações, o Rosetta credencia-se a integrar vários EDT, entre eles os Links 16 e 22.

Embora não se pretenda discorrer sobre esses produtos ou suas arquiteturas, escolheu-se mencioná-los porque todos têm atributos técnicos para substituir o MDLP-Defesa. Entretanto, se isso acontecesse, não se evitariam os problemas de dependência externa, insegurança cibernética, custos e dificuldades de manutenções, abordadas em Filho *et al.* (2017), que levaram ao desenvolvimento do RDS-Defesa no Brasil. Ademais, os recursos tecnológicos oferecidos pelos produtos estrangeiros extrapolam o necessário para executar as tarefas que serão atribuídas ao MDLP-Defesa, gerando desperdícios financeiros.

4.2 O MDLP-Defesa

Desde 2005, por meio do projeto SISTED, o MD tem se empenhado para tornar interoperáveis os EDT das FA brasileiras. Em 2014, sua Portaria nº 1.976 criou o Programa Interoperabilidade Técnica de Comando e Controle, que tem escopo restrito ao nível tático e busca agregar, de modo coordenado e observando os preceitos formulados pelo SISTED, os seguintes projetos voltados para SisC2, classificados como principais: RDS-Defesa, MDLP-Defesa, LinkBR2⁵⁵ e STERNA (BRASIL, 2014). Em 2015, sua Portaria nº 2.506 aprovou o documento Conceito de Operações do SISTED, ao qual couberam as principais contribuições acerca do assunto, voltadas, todavia, às camadas da Interoperabilidade Organizacional.

53 <<https://www.curtisswrightds.com/products/software/tcl-processing/gateways/huntr.html>>. Acesso em: 5 jun. 2021.

54 <<https://www.rockwellcollins.com/~media/Files/Unsecure/Products/Product%20Brochures/Communication%20and%20Networks/Networks/Rosetta%20Sensor%20Data%20Mgr/Rosetta%20Technology%20data%20sheet.aspx>>. Acesso em: 7 jun. 2021.

55 LinkBR2 e STERNA, os novos EDT da FAB e da MB respectivamente, compõem, com o RDS-Defesa e o MDLP-Defesa, os principais projetos em foco.

O Programa Interoperabilidade Técnica de Comando e Controle espera, entre outros, os seguintes resultados: contribuição para que, em Operações Conjuntas, os SisC2 táticos das FA atinjam níveis de interoperabilidade consonantes com o previsto na doutrina⁵⁶ militar de comando e controle; e incremento da consciência situacional (BRASIL, 2014).

Aumentar o nível de interoperabilidade transformou-se em tarefa do RDS-Defesa e do MDLP-Defesa, já que LinkBR2 e STERNA são EDT independentes, que não interagem entre si, mas são capazes de fornecer informações que incrementam a consciência situacional.

Os esforços de especificação do MDLP-Defesa incorriam no erro de extrapolar as suas funções, mas, por meio de uma reconcepção dessas funções, foi possível atribuir-lhe um novo escopo de atuação e uma arquitetura baseada essencialmente em *software*. Entendeu-se que o MDLP-Defesa deveria aproveitar as estruturas de *hardware* já utilizadas pelos sistemas das FA e implementar programas computacionais que permitissem as trocas de dados entre os sistemas que não conseguiam interagir. Considerando-se que a camada de Interoperabilidade Física do modelo de Tolk já estava ocupada por rádios ou outras infraestruturas de comunicações e que, ali, cabia ao RDS-Defesa trabalhar em prol da interoperabilidade, restava ao MDLP-Defesa atuar nas demais camadas da Interoperabilidade Técnica.

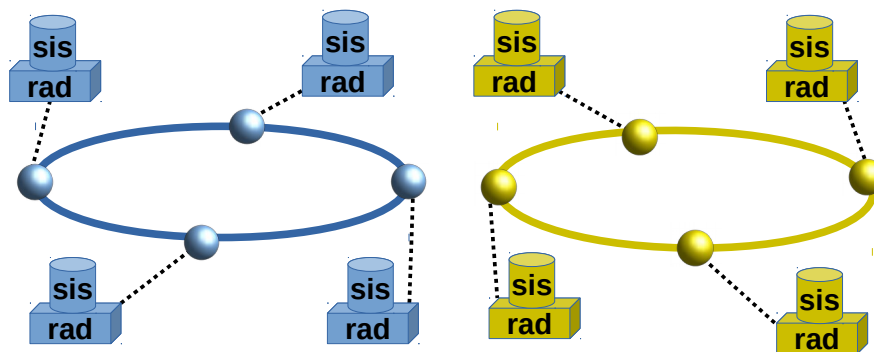


FIGURA 17 – Dois EDT que não interoperam.

A FIG. 17 esclarece esses entendimentos. Percebe-se o problema da falta de comunicação entre EDT, contexto que definiu o escopo de atuação do MDLP-Defesa. Todos os nós são componentes de EDT e possuem um conjunto sistema e rádio, abreviadamente intitulado sis-rad. O rádio, simbolizado por um paralelepípedo e abreviado por rad, e o sistema, simbolizado por um cilindro e abreviado por sis, trabalham juntos⁵⁷ para os EDT funcionarem. Como elementos de um SisC2 no nível tático, tais nós geram e enviam dados e

⁵⁶Compõem a doutrina em questão o Conceito de Operações do Sistema Militar de Comando e Controle e a Doutrina para o Sistema Militar de Comando e Controle, que estabelecem o nível de 3 de interoperabilidade para os SisC2.

⁵⁷No conjunto sis-rad, o elemento sis é o cérebro do conjunto e controla o necessário para o EDT operar.

também os recebem. Antes de ser enviado, o dado é gerado pelo sis e repassado ao rad, que então o transmite aos outros nós. Quando recebido, o dado é recolhido pelo rad, que o repassa ao sis. Na FIG. 17, não há Interoperabilidade Técnica entre os dois EDT.

Na FIG. 18, diferentemente do cenário da FIG. 17, mostram-se dois EDT distintos, interoperando por meio de um nó que pertence a ambos os EDT. Para que isso aconteça, o nó, chamado de *gateway*, deve possuir o conjunto sis-rad dos dois EDT e um elemento adicional, o MDLP-Defesa, simbolizado por um cone, que promove a transferência de dados entre os dois sistemas. Esclarece-se que a ausência do MDLP-Defesa tornaria inócua a presença dos dois conjuntos sis-rad no *gateway*, porque os dados não conseguiriam trafegar entre os sis.

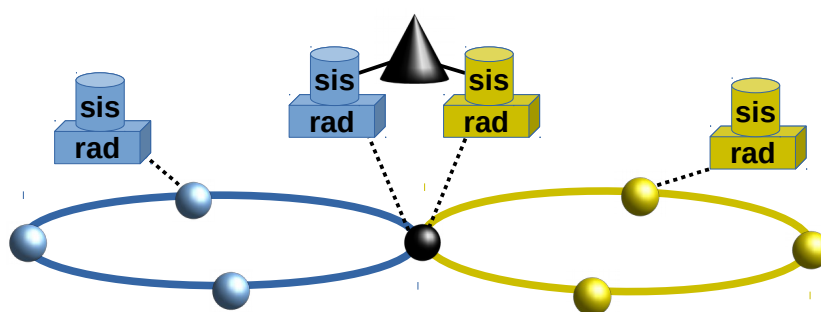


FIGURA 18 – Dois EDT que interoperam por meio de um *gateway*.

Compreende-se, assim, este novo escopo de atuação do MDLP-Defesa: utilizar toda a infraestrutura dos conjuntos sis-rad já existentes nos nós que compõem os EDT e apenas promover a transferência dos dados entre os sis desses conjuntos. Conforme já mencionado, cometia-se o erro de extrapolar as funções do MDLP-Defesa, atribuindo-lhe o escopo de também implementar o sis-rad.

A tarefa de transferir dados torna-se complexa por envolver dois importantes parâmetros de transferência, o protocolo⁵⁸ de comunicação e o modelo⁵⁹ de dados, que podem variar bastante para atender às características distintas de cada um dos EDT. Reitera-se que os EDT cumprem requisitos específicos de quem os opera. Assim, o MDLP-Defesa deve lidar com diferentes protocolos de comunicação e modelos de dados.

Conclui-se que o MDLP-Defesa é um *software*, cuja tarefa precípua é fazer a transferência de dados entre sistemas, utilizando o protocolo de comunicação adequado e convertendo o modelo de dados usado por um sistema no modelo de dados usado pelo outro

⁵⁸Um protocolo de comunicação é um grupo de regras e procedimentos que devem ser seguidos para que duas ou mais entidades troquem informações.

⁵⁹Um modelo de dados é uma estrutura que discrimina todos os elementos que compõem um dado e as características de cada um desses elementos.

sistema. Sua arquitetura está mostrada na FIG. 19, em que ficam notórias estas três camadas: a inferior, que implementa os diversos protocolos de comunicação dos sistemas; a central, que trabalha nos processos necessários às transferências de informações e naqueles voltados para a conversão e a compatibilização dos diferentes modelos de dados usados pelos sistemas; e a camada superior, que implementa os elementos do barramento INTERC2, usado para permitir que o TO interopere com os SisC2 do nível estratégico.

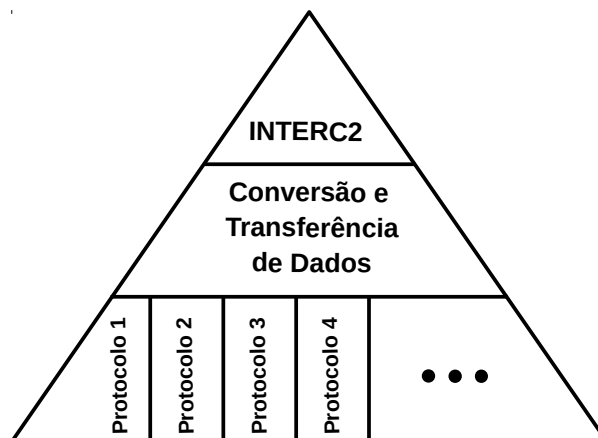


FIGURA 19 – A arquitetura de *software* do MDLP-Defesa.

Todo *software* trabalha sobre uma plataforma de *hardware*, portanto o MDLP-Defesa deve associar-se a uma delas para executar as suas tarefas. Quando funcionando em conjunto com o RDS-Defesa, que tem em sua arquitetura um computador, a plataforma de *hardware* do MDLP-Defesa é o próprio RDS-Defesa.

O cronograma de desenvolvimento da versão inicial do MDLP-Defesa prevê que seu término ocorrerá em dezembro de 2023 e contemplará os protocolos dos principais EDT das FA brasileiras. Versões subseqüentes serão produzidas para incorporarem outros protocolos.

4.3 MDLP-Defesa como Fator Positivo

Retomando-se novamente o modelo de Tolk, a FIG. 20 mostra que as demais camadas da Interoperabilidade Técnica podem ser associadas ao MDLP-Defesa. Tal entendimento deve-se ao seu escopo e às características de sua arquitetura de *software*. Sua atuação na Interoperabilidade de Protocolos é clara, porque ele implementa os protocolos que as transferências de dados exigem. A Interoperabilidade de Modelo de Dados também é contemplada, porque ele faz a conversão de modelos, permitindo que o dado seja

corretamente tratado por qualquer sistema. Finalmente a Interoperabilidade da Informação é assegurada, pois, com o dado convertido para o modelo apropriado, a informação pode ser corretamente construída e interpretada.

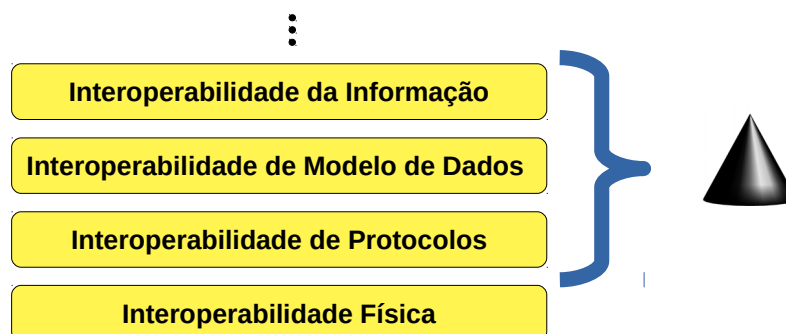


FIGURA 20 – MDLP-Defesa atuando nas demais camadas da Interoperabilidade Técnica.

A reconcepção do MDLP-Defesa foi motivada pela inexistência de uma infraestrutura fixa de comunicações no TO, onde as interações ocorrem de forma *ad hoc*, cenário característico de operação dos EDT. Nessas condições, não se encontram os requisitos técnicos do barramento INTERC2, que, observando-se Oliveira *et al.* (2020), é usado em redes cabeadas, com taxas de transmissão mais elevadas, que servem ao nível estratégico. Mas a FIG. 9 mostra que os níveis tático e operacional conectam-se ao nível estratégico por meio do segmento espacial do SISCOMIS. Não fosse assim, a consciência situacional do TO não seria enviada ao nível estratégico. Isso implicou à arquitetura de *software* do MDLP-Defesa ter três camadas, conferindo-lhe a versatilidade de tratar variados modelos de dados e múltiplos protocolos de comunicação, incluindo-se aqueles usados pelo INTERC2.

Essa versatilidade e a característica de atuar nas demais camadas da Interoperabilidade Técnica com independência da camada de Interoperabilidade Física ainda conferem ao MDLP-Defesa a capacidade de interagir com outros tipos de sistemas diferentes dos EDT. A FIG. 21 explica essa afirmação ao mostrar um nó amarelo que possui também um sistema radar. A função do MDLP-Defesa desse nó é extrair as informações do radar, usando o protocolo de comunicação adequado, converter essas informações para o modelo de dados usado no sis, que enviará os dados ao rad, que os transmitirá a todos os nós do enlace amarelo. Por meio da interoperabilidade dos dois EDT, efetivada pelo MDLP-Defesa do *gateway* (nó preto), as informações do radar conseguem chegar ao nó azul identificado pela seta.

Transportando-se a situação da FIG. 21 para circunstâncias práticas, infere-se que um Fragata Classe Tamandaré terá condições de enviar as informações de um de seus radares para uma Fragata Classe Niterói. Essa facilidade é a essência da Guerra Centrada em Redes.

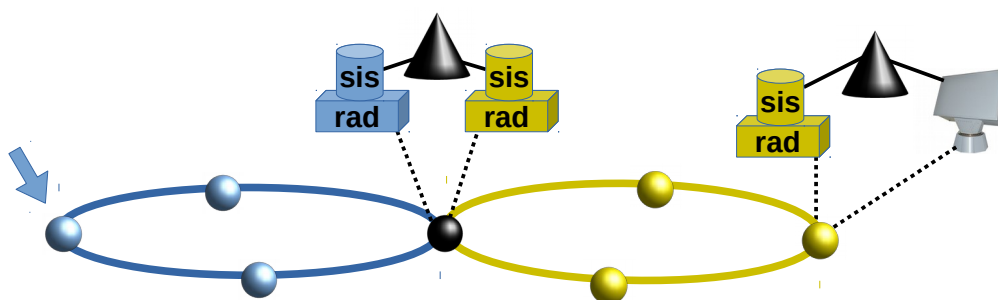


FIGURA 21 – MDLP-Defesa atuando com outros sistemas diferentes dos EDT.

Reitera-se a importância de o MDLP-Defesa ser independente da camada de Interoperabilidade Física, haja vista que o desenvolvimento de todos os sistemas componentes do SisMC2 atendeu às especificidades das FA, fato que se observa nas diferentes soluções empregadas pelos EDT na camada de Interoperabilidade Física.

Normalmente, os EDT são construídos de modo que o elemento sis do conjunto sis-rad possa operar com qualquer elemento rad⁶⁰, pois isso dá flexibilidade operacional e tática aos EDT. Entretanto, com a evolução tecnológica e o aparecimento dos RDS, que são capazes de incorporar em suas FO algumas funções outrora típicas do elemento sis, o conjunto sis-rad passou a ser dependente do elemento rad, que não pode ser facilmente substituído por outro. Esse fato acontece, por exemplo, no novo EDT da FAB em estágio final de desenvolvimento, o Link BR2, que emprega um RDS da empresa AEL Sistemas⁶¹ e depende dele para operar.

Perante o exposto, destaca-se que a versatilidade de sua arquitetura de *software* e sua independência da camada de Interoperabilidade Física são dois aspectos do MDLP-Defesa que o credenciam como fator positivo para compor uma arquitetura de comunicações que promova a Interoperabilidade Técnica entre os EDT das FA.

60 Os elementos rad dos EDT cumprem determinados requisitos técnicos que, geralmente, já estão presentes em rádios militares.

61 <https://www.ael.com.br/index.html>. Acesso em: 7 jul. 2021.

5. ARQUITETURA DE COMUNICAÇÕES PROPOSTA

Neste capítulo, como solução da Questão da Estudo, será proposta uma arquitetura de comunicações alicerçada no RDS-Defesa e no MDLP-Defesa, que pretende tornar interoperáveis os EDT das FA. Para simplificar a referência a essa arquitetura ao longo do restante deste trabalho, criou-se-lhe o acrônimo ArqComPro. Ressalta-se que, antes de a ArqComPro ser apresentada, serão mostradas duas arquiteturas também capazes de tornar interoperáveis os EDT das FA, mas cujos aspectos negativos tornaram-nas insatisfatórias.

Recomenda-se ter atenção às seguintes abreviaturas e siglas ao longo deste capítulo:

– Arq1	Arquitetura 1
– Arq2	Arquitetura 2
– ArqComPro	Arquitetura de Comunicações Proposta
– FOIEDT	Forma de Onda da Interoperabilidade de EDT
– <u>sis</u>	Sistema do Conjunto Sistema e Rádio dos EDT
– <u>sis-rad</u>	Conjunto Sistema e Rádio dos EDT
– <u>rad</u>	Rádio do Conjunto Sistema e Rádio dos EDT

5.1 Premissas

Os fatores positivos do RDS-Defesa e do MDLP-Defesa, reproduzidos na TAB. 3, consomem a associação desses dois projetos às camadas do modelo de Tolk, como mostrado na FIG. 22, e são os elementos que contribuirão para se compor a ArqComPro.

TABELA 3
Fatores positivos do RDS-Defesa e do MDLP-Defesa.

Projeto	Fatores Positivos
RDS-Defesa	Capacidade de atuar na camada de Interoperabilidade Física e de: processar simultaneamente duas FO independentes; criptografar dados; usar a FO para controlar o acesso ao meio eletromagnético; e alterar as funções de comunicações em radiofrequência pela simples troca da FO.
MDLP-Defesa	Independência da camada de Interoperabilidade Física e arquitetura de <i>software</i> versátil, permitindo-lhe atuar em todas as demais camadas da Interoperabilidade Técnica.

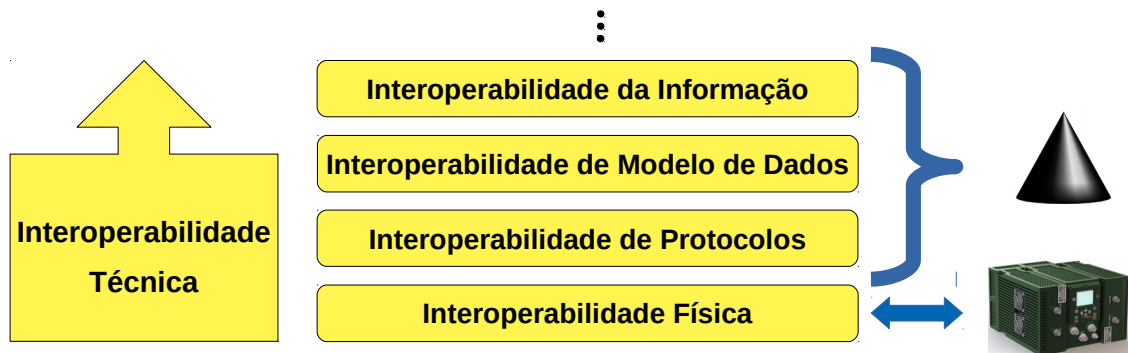


FIGURA 22 – RDS-Defesa e MDLP-Defesa atuam na Interoperabilidade Técnica.

Nesse sentido, algumas premissas, extraídas do arcabouço doutrinário que rege o SisMC2 e expostas na TAB. 4, devem ser consideradas durante o processo de análise que culminará na ArqComPro. Contrariar uma premissa não invalida a arquitetura, mas a rotula como insatisfatória por prejudicar o trabalho de evolução do SisMC2.

TABELA 4
Premissas para se obter a ArqComPro.

Premissa	Aspectos da Doutrina
P1	Necessita-se buscar a evolução da Interoperabilidade Técnica até que se atinja a Interoperabilidade da Informação, com o claro objetivo de se chegar à consciência situacional (BRASIL, 2015a).
P2	As soluções de interoperabilidade devem criar compatibilidade entre as camadas físicas dos equipamentos e entre as camadas lógicas dos sistemas, incluindo-se protocolos de comunicação e de criptografia (BRASIL, 2015b).
P3	Deve-se buscar preservar os legados já existentes (BRASIL, 2015b).
P4	Necessita-se de uma estrutura aberta, flexível e modular, capaz de se expandir e agregar novas tecnologias (BRASIL, 2015b).

As premissas P1, P2 e P3 estão diretamente ligadas às características e aos fatores positivos do RDS-Defesa e do MDLP-Defesa, mas a P4 refere-se ao número de *gateways* e a quantos EDT eles pertencem, dois atributos que determinarão a organização das arquiteturas, cuja análise será sempre feita com base no cenário da FIG. 3, em que estão presentes quatro EDT com soluções completamente independentes e que não interoperam. Lembra-se que o conjunto sis-rad é o elemento que permite a um nó fazer parte dos EDT e deve estar presente em todos os nós.

5.2 Arquiteturas Insatisfatórias

Todas as arquiteturas avaliadas como insatisfatórias contrariam pelo menos uma das premissas da TAB. 3, mas são capazes de promover a interoperabilidade entre os EDT das FA. Contrariar uma premissa não invalida a arquitetura, mas a rotula como insatisfatória.

Arquitetura 1 (Arq1)

A Arq1 está mostrada na FIG. 23. Nota-se que o RDS-Defesa não está presente, pois os EDT já operam com seus próprios rádios, ou seja, a camada da Interoperabilidade Física já está preenchida com os rádios legados. Entretanto o MDLP-Defesa é explorado em todos os seus fatores positivos e é o responsável por promover a Interoperabilidade Técnica mesmo com camadas físicas diferentes. **Na Arq1, cada gateway pertence a apenas dois EDT.**

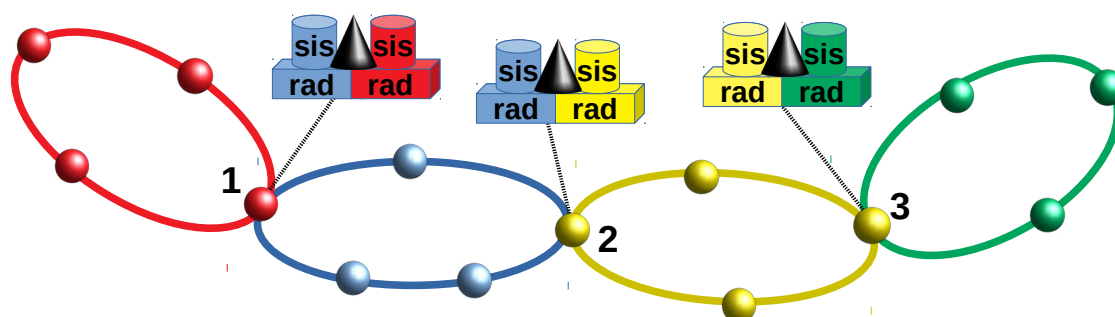


FIGURA 23 – Uma Arq1 com quatro EDT.

As premissas P1 e P3 são atendidas, pois os legados são preservados e a Interoperabilidade Técnica é assegurada, mas a P2 é contrariada por não haver homogeneidade nas camadas físicas e na criptografia, já que o RDS-Defesa não é usado. Não atender à P2 já é suficiente para classificar a Arq1 como insatisfatória.

Seria possível atender a P2 se o elemento rad de todos os nós dos EDT fosse substituído⁶² pelo RDS-Defesa. Havendo essa substituição, os *gateways* da FIG. 23 ficariam com a configuração da FIG. 24a, enquanto todos os outros nós teriam uma das configurações da FIG. 24b, e o RDS-Defesa seria explorado em todos os seus fatores positivos, principalmente nas capacidades de criptografar dados e de processar simultaneamente duas FO independentes, operando como dois rádios (situação da FIG. 12a, em que há duas interfaces de RF) e implementando a camada física dos dois EDT. Satisfazer à P2, todavia,

⁶² Essa substituição só seria possível se o elemento sis dos conjuntos sis-rad fosse completamente independente do elemento rad. No item 4.3 deste trabalho, mostrou-se que o emprego de um RDS como rad pode tornar o sis dependente dele.

contrariaria a P3, pois não se preservariam os rádios legados.

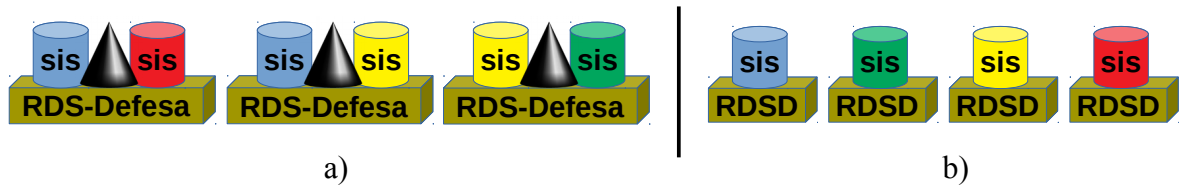


FIGURA 24 – Elementos rad de uma Arq1 são substituídos pelo RDS-Defesa.

- a) Gateways empregam o RDS-Defesa com duas interfaces de RF para operar, simultaneamente, com dois EDT diferentes.
- b) Nós empregam o RDS-Defesa com uma interface de RF.

O principal revés refere-se ao não atendimento da premissa P4, pois a Arq1 apresenta uma arquitetura pouco robusta e flexível, cuja expansão diminuiu ainda mais a robustez, porquanto implica o surgimento de *gateways* cuja inoperância provoca a perda de interoperabilidade de dois ou mais EDT. Tais *gateways* podem ser intitulados centrais. Na FIG. 23, o nó 2 é um *gateway* central, pois sua inoperância impede que os EDT vermelho e azul interoperem com o amarelo e o verde. Nota-se que os *gateways* 1 e 3 da FIG. 23 não são centrais, porque suas inoperâncias isolam apenas um EDT.

A FIG. 25 ajuda a compreender por que a expansão de uma Arq1 implica o surgimento de *gateways* centrais. Na configuração da Arq1 da FIG. 25, há sete EDT e quatro *gateways* centrais, identificados pela cor vermelha.

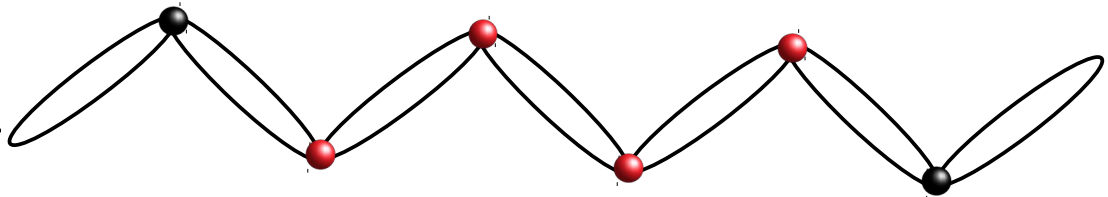


FIGURA 25 – Sete EDT interoperam com quatro *gateways* centrais.

Tentando-se aumentar a robustez da Arq1, poder-se-iam incorporar *gateways* reservas, que assumiriam a tarefa dos titulares se eles deixassem de operar, mas isso implicaria dotar outros nós com dois conjuntos sis-rad completos, gerando-se custos.

Um problema de ordem prática quanto à flexibilidade da Arq1 é a necessidade de os *gateways* pertencerem a uma das FA. Dessa forma, as FA que possuíssem *gateways* deveriam estar presentes às operações para que houvesse interoperabilidade. Compreende-se melhor essa assertiva com a FIG. 23. Supondo-se, então, que aquela Arq1 compusesse a arquitetura real dos EDT das FA em um TO, em que o Link BR2 da FAB e o Link STERNA da MB fossem, respectivamente os EDT azul e amarelo, a interoperabilidade dependeria da presença constante do STERNA com seus *gateways* 2 e 3, mas não precisaria do Link BR2,

conquanto ele não tem *gateways*. Expandindo-se o raciocínio e supondo-se que o EDT verde pertencesse ao EB e os *gateways* 2 e 3 fossem duas fragatas, uma operação envolvendo o Link BR2 e o link do EB só poderia acontecer próximo à costa brasileira, dentro do alcance dos elementos rad das fragatas, notabilizando uma limitação inconcebível.

Outro problema de ordem prática é a demora que uma mensagem poderá enfrentar para passar da extremidade de um EDT à extremidade de outro EDT, considerando-se que ela deva percorrer alguns EDT pelo caminho.

Infere-se, por conseguinte, que arquiteturas como a Arq1 têm potencial para limitar o desenvolvimento da estratégia⁶³ de guerra já no nível decisório estratégico.

Apesar de a Arq1 ser insatisfatória como ArqComPro, ela tem uma interessante característica de linearidade, que pode ser explorada se os EDT forem empregados para cobrirem grandes espaços geográficos.

Arquitetura 2 (Arq2)

A Arq2 está mostrada na FIG. 26. Aplicam-se a ela as mesmas observações da Arq1: a camada da Interoperabilidade Física já está preenchida com rádios legados e o MDLP-Defesa é explorado em todos os seus fatores positivos, constituindo-se no responsável por promover a Interoperabilidade Técnica. **Na Arq2, diferentemente da Arq1, o gateway pertence a todos os EDT**, precisa do elemento sis-rad de cada um deles e exige do MDLP-Defesa, que interage com todos os elementos sis, uma maior capacidade de processar tarefas.

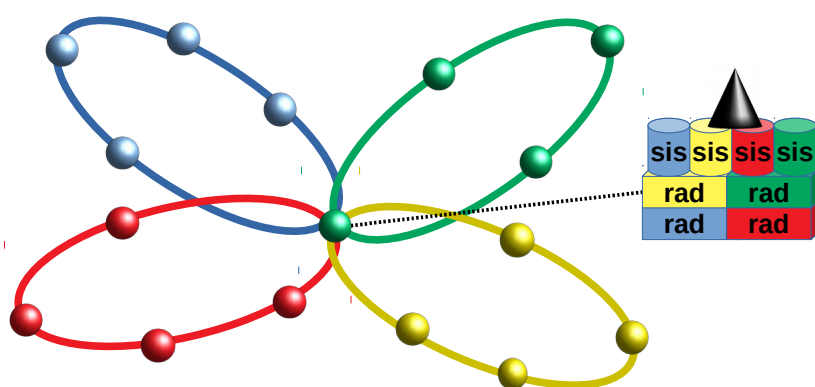


FIGURA 26 – Uma Arq2 com quatro EDT.

Assim como na Arq1, as premissas P1 e P3 são atendidas, pois os legados são preservados e a Interoperabilidade Técnica é assegurada, mas a P2 é contrariada, porque a falta do RDS-Defesa não permite haver homogeneidade nas camadas físicas e na criptografia.

⁶³ Luttwak (2009) analisa a influência dos níveis técnico, tático e operacional na lógica da estratégia aplicada ao Teatro de Operações.

Não atendendo à P2, a Arq2 também se torna insatisfatória.

Se o elemento sis de todos os conjuntos sis-rad fosse independente do rad, seria também possível atender à P2, substituindo-se o elemento rad de todos os nós dos EDT pelo RDS-Defesa, o que contrariaria a P3, posto que os legados não seriam preservados. Se os rad fossem substituídos, o *gateway* teria a configuração da FIG. 27a, enquanto todos os outros nós teriam uma das configurações da FIG. 27b.

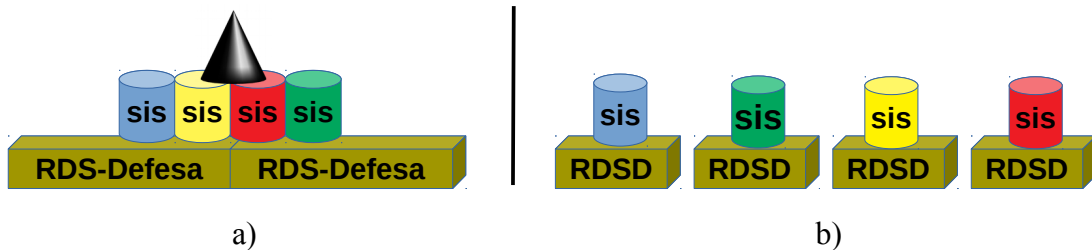


FIGURA 27 – Elementos rad de uma Arq2 são substituídos pelo RDS-Defesa.

- O *gateway* emprega dois RDS-Defesa com duas interfaces de RF para operar, simultaneamente, com quatro EDT diferentes.
- Nós empregam o RDS-Defesa com uma interface de RF.

Avaliando-se a premissa P4, nota-se uma considerável deficiência de robustez na Arq2, porque a inoperância do *gateway* gera a completa perda de interoperabilidade entre os EDT. Nota-se também inflexibilidade, haja vista que expandir a arquitetura com a incorporação de novos EDT implicaria dotar o *gateway* de mais conjuntos sis-rad e aumentar o número de tarefas do MDLP-Defesa. A FIG. 28 expõe essa inflexibilidade por meio de uma arquitetura em que estão presentes seis EDT.

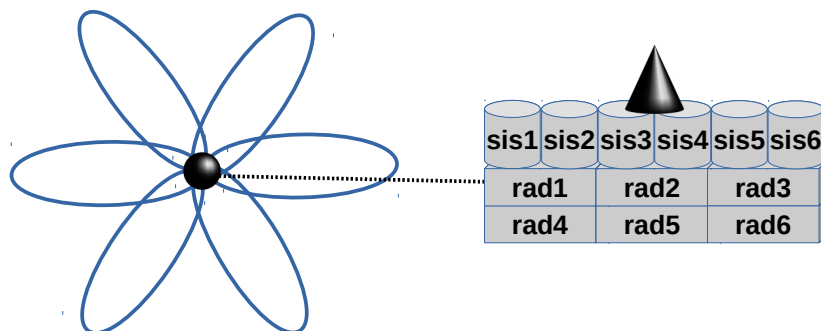


FIGURA 28 – O *gateway* de uma Arq2 com seis sis-rad.

A dificuldade da Arq2 em se expandir explica-se não só pela quantidade de elementos sis-rad que um *gateway* deveria ter, mas pelo volume de atividade eletromagnética decorrente de contínuas transmissões e recepções em diferentes faixas de RF, situação que facilmente denunciaria aos equipamentos de guerra eletrônica de forças inimigas a posição geográfica do *gateway* no TO, transformando-o em alvo potencial de ataque.

Acrescenta-se à inflexibilidade da Arq2 a obrigação de o *gateway* pertencer ao

meio de uma das FA, exigindo-se que esse meio estivesse presente a todas as operações. Na FIG. 26, posto que o *gateway* pertence ao EDT verde, poder-se-ia considerá-lo um blindado do EB; nesse caso, se os EDT amarelo e azul fossem o STERNA e o Link BR2 respectivamente, uma operação em alto mar que envolvesse apenas FAB e MB deveria levar o blindado do EB.

Considerando-se, hipoteticamente, em face de evoluções tecnológicas, que o acúmulo de conjuntos sis-rad em um *gateway* não levasse a problemas de níveis técnico, tático e operacional, a deficiência de robustez da Arq2 poderia ser contornada por meio do aumento do número de *gateways*, colocando-se um por EDT, de modo que a inoperância de um deles não anulasse a interoperabilidade dos enlaces. Isso se mostra na FIG. 29, em que quatro *gateways* estão presentes, mas a situação levaria os MDLP-Defesa a possuírem um controle adicional que os impedisse de atuar concomitantemente e replicar qualquer mensagem indefinidamente por todos os nós.

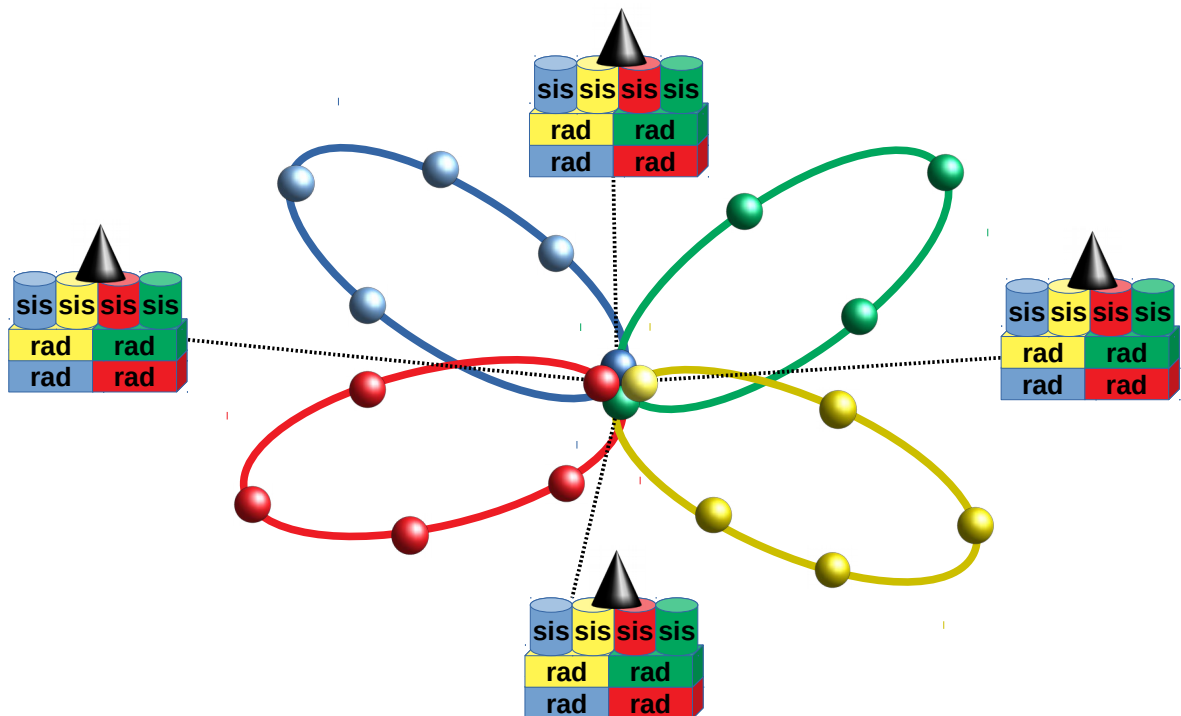


FIGURA 29 – Uma Arq2 com quatro EDT adquire robustez com um *gateway* por EDT.

Arquiteturas como a Arq2 figuram uma relação contraditória entre a robustez e o aspecto flexibilidade da premissa P4. Se a robustez é aumentada pelo incremento do número de *gateways*, a flexibilidade é diminuída pela necessidade de se ter cada *gateway* com todos os conjuntos sis-rad dos EDT. Quanto maior o número de EDT, mais difícil será tornar a Arq2 robusta em face da quantidade exigida de *gateways* e dos custos para equipá-los com todos os sis-rad.

Essas particularidades negativas da Arq2 provocaram um aprofundamento de sua análise. O núcleo de *gateways* da FIG. 29 pode ser expandido e mais bem entendido pela FIG. 30a. Notam-se quatro anéis ligando os *gateways*, cada anel com a cor de um enlace. Os anéis foram uma maneira de representar que os *gateways* estão ligados a todos os EDT. Observando-se o núcleo da FIG. 30a, surgiu esta pergunta: como substituir os quatro anéis por apenas um, permitindo que o núcleo de *gateways* interoperasse por um único enlace, como na FIG. 30b? A resposta a essa pergunta inspirou a criação da ArqComPro.

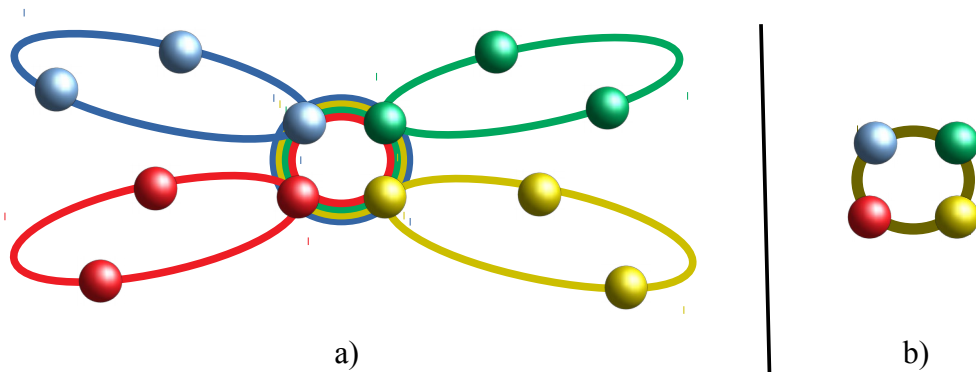


FIGURA 30 – A Arq2 sob nova perspectiva.

- a) O núcleo de *gateways* ligado por quatro anéis.
- b) Os quatro anéis são substituídos por apenas um.

5.3 A Arquitetura de Comunicações Proposta (ArqComPro)

Na verdade, as características positivas e negativas das Arq1 e Arq2 compuseram o arcabouço de análise da ArqComPro. Era necessária uma arquitetura que se organizasse em um núcleo de *gateways* de um único enlace e com *gateways* que só precisassem de apenas dois conjuntos sis-rad. Tais requisitos dariam, entre outras vantagens, a flexibilidade renunciada pelas arquiteturas anteriores.

Nesse sentido, a FIG. 30b passou a representar o núcleo da ArqComPro, o enlace central por meio do qual todos os *gateways* pudessem se comunicar. Substituindo-se o núcleo da FIG 30a pela FIG. 30b, obteve-se a ArqComPro completa, cuja organização está mostrada na FIG. 31. Nela, RDS-Defesa e MDLP-Defesa são explorados em todos os fatores positivos mostrados na TAB. 3, que, combinados, proveem a Interoperabilidade Técnica entre os EDT das FA. Do mesmo modo, todas as premissas doutrinárias da TAB. 4 são observadas. **Na ArqComPro, os *gateways*, independentemente da quantidade de EDT interoperando, estão sempre ligados ao enlace central e a apenas um EDT.** O enlace central funciona como um meio de transferência, pelo qual as informações são trocadas entre os EDT.

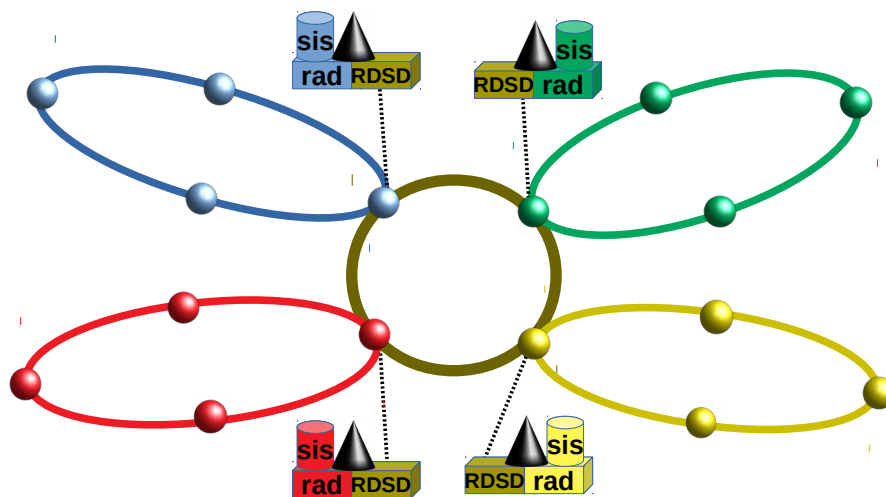


FIGURA 31 – Uma ArqComPro com quatro EDT.

5.3.1 ArqComPro e os Fatores Positivos de RDS-Defesa e MDLP-Defesa

Como substituir os quatro anéis da FIG. 30a por apenas um, criando-se um enlace central, por onde os *gateways* se comuniquem? O RDS-Defesa é capaz de criar esse enlace central, usando seu principal fator positivo: uma FO que desempenhe as funções de controle de acesso ao meio eletromagnético e assegure que as informações sejam trocadas sem perdas e sem desperdícios de tempo. Nota-se, pela FIG. 31, que todos os *gateways* possuem o RDS-Defesa e que não há o elemento sis a ele associado, pois o enlace central não é um EDT em sua essência e não precisa das tarefas típicas de um sis.

O RDS-Defesa pode usar sua capacidade de criptografar dados para assegurar que, no enlace central, todas as comunicações ocorram de forma protegida. Isso garante que a segurança dos EDT não se perca enquanto as informações trafeguem fora deles.

Lembrando-se que as FO determinam as funções de comunicações em radiofrequência de um RDS, o RDS-Defesa provê a capacidade de alteração dos parâmetros do enlace central pela simples troca da FO. Um parâmetro relevante é o controle de acesso ao meio eletromagnético. Conforme as condições do enlace central, um controle de acesso mais rigoroso pode ser exigido.

A possibilidade de o RDS-Defesa operar com duas interfaces de RF confere-lhe a capacidade de processar simultaneamente duas FO independentes. Diante disso, nos EDT em que o elemento rad opera como um rádio convencional, o rad pode ser substituído por uma interface de RF do RDS-Defesa e os *gateways* assumem as configurações da FIG. 32. Por outro lado, nos EDT em que o rad emprega um RDS e o sis é dependente dele, os *gateways*

permanecem com as configurações da FIG. 31 e o RDS-Defesa opera com apenas uma interface de RF.

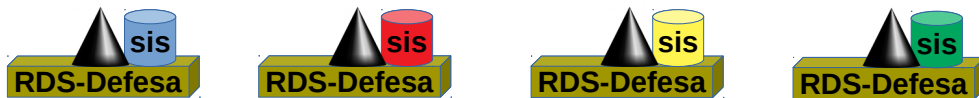


FIGURA 32 – RDS-Defesa, com duas interfaces de RF, opera no enlace central e no EDT.

Tanto nas Arq1 e Arq2 quanto na ArqComPro, o MDLP-Defesa é explorado em todos os seus fatores positivos, mas destaca-se o resultado prático mostrado na FIG. 33, em que o TO conecta-se ao nível estratégico, transmitindo sua consciência situacional à ROD pelo segmento espacial do SISCOMIS. A conexão TO-ROD depende apenas dos fatores positivos do MDLP-Defesa e também poderia ser conseguida nas Arq1 e Arq2.

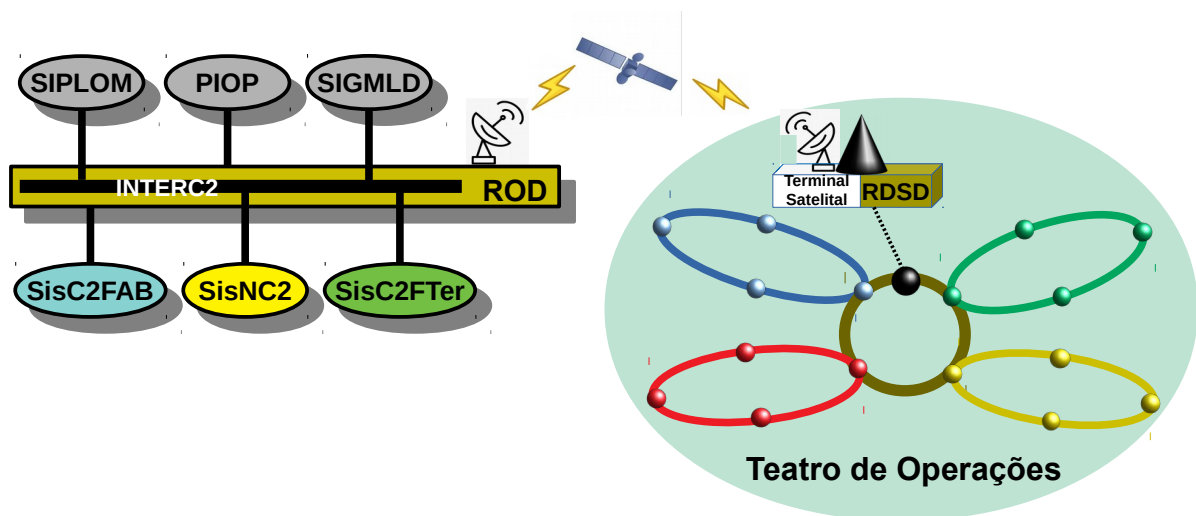


FIGURA 33 – TO com ArqComPro conectado à ROD.

Utilizando a versatilidade de sua arquitetura de software, o MDLP-Defesa trabalha com quaisquer modelos de dados e protocolos de comunicação e implementa os elementos do barramento INTERC2. Essas características conferem ao MDLP-Defesa a capacidade de operar com muitos EDT e também com o terminal satelital do SISCOMIS, como já mencionado. Assim, a consciência situacional do TO chega à ROD, especificamente ao SIPLM e aos sistemas conectados ao INTERC2. Essa interação fica clara na FIG. 33, em que o nó preto pertence apenas ao enlace central, por meio do qual o RDS-Defesa colhe as informações dos EDT e as transfere ao MDLP-Defesa, que, então, prepara as informações para tramitarem no INTERC2 e as envia ao terminal satelital do SISCOMIS.

Acerca de sua independência quanto à camada de Interoperabilidade Física, a FIG. 33 deixa claro que o MDLP-Defesa interage com dois tipos diferentes de rádio, o RDS-Defesa e o rádio do Terminal Satelital, e ratifica que a tarefa de transmitir e receber informações

pertence aos rádios.

A FIG. 33 traduz o que se esperava da ArqComPro: os fatores positivos dos RDS-Defesa e MDLP-Defesa sendo explorados; todos os EDT interoperando e integrando a consciência situacional nos níveis tático e operacional; e essa consciência situacional sendo transmitida ao nível estratégico.

5.3.2 ArqComPro e as Premissas Doutrinárias

Todas as premissas doutrinárias são observadas em plenitude na ArqComPro, e isso se justifica pela exploração integral dos fatores positivos dos MDLP-Defesa e RDS-Defesa.

Quanto à premissa P1, a FIG. 22 é clara ao mostrar que a Interoperabilidade Técnica pode ser trabalhada em todas as suas camadas quando MDLP-Defesa e RDS-Defesa são empregados.

Quanto à premissa P3, antes mesmo da elaboração da ArqComPro, sabia-se que a autonomia das FA em prover soluções específicas para seus problemas produzira conjuntos de equipamentos e sistemas que não poderiam ser substituídos imediatamente e cujas características deverão ser preservadas no futuro, pois sempre serão diferentes os contextos em que operam as FA. Mesmo com o intuito de, no futuro, se adotar o RDS-Defesa como a camada física de comunicações das FA, cada uma usará a FO que atenda a seus requisitos operacionais, portanto sempre haverá camadas físicas diversas.

Quanto à premissa P2, o RDS-Defesa é o seu principal agente. O emprego do RDS-Defesa no enlace central da ArqComPro garante camada física, protocolo de comunicação e criptografia homogêneos. Fora do enlace central, age o MDLP-Defesa para acessar os protocolos dos EDT e traduzir as informações, atingindo-se a Interoperabilidade da Informação e, conseqüentemente, compatibilizando-se as camadas lógicas dos sistemas. Para que não se contrarie a P3, as camadas físicas dos EDT (os elementos rad) devem ser preservadas, mas poderiam ser substituídas pelos RDS-Defesa nos EDT que o sis não dependesse do rad.

As Arq1 e Arq2 foram classificadas como insatisfatórias quanto à premissa P4. Na ArqComPro, a análise dos aspectos da P4 revela importantes características dessa arquitetura.

Quanto ao aspecto capacidade de expansão, a organização da ArqComPro lhe permite a incorporação de novos EDT sem que isso implique aumento do número de conjuntos sis-rad nos *gateways*.

Quanto ao aspecto flexibilidade, não há a obrigação da presença de determinado *gateway* para que se garanta a interoperabilidade entre todos os EDT, como acontecia nas Arq1 e Arq2. Destarte não há, na ArqComPro, inflexibilidade que cause limitações de nível estratégico, operacional, tático ou técnico.

A flexibilidade e a capacidade de expansão da ArqComPro justificam-se pelo fato de os *gateways* interagirem sempre com o enlace central e com o EDT ao qual pertencem, portanto a inoperância de um *gateway* só causa a perda de interoperabilidade com o seu EDT, preservando-se a interoperabilidade com os demais EDT. A inoperância de um *gateway* também não invalida o enlace central, cujo funcionamento depende apenas da FO do RDS-Defesa; enquanto houver uma FO em operação, haverá o enlace central, e a entrada ou a saída de *gateways* só aumenta ou diminui o número de nós nesse enlace. A quantidade máxima de nós operando no enlace central depende de parâmetros da FO. Certamente essa quantidade deve ser considerada durante o planejamento das operações, mas isso não pode ser interpretado como um fator que limite os aspectos de flexibilidade e capacidade de expansão da ArqComPro.

Quanto à capacidade de agregar novas tecnologias, a FIG. 34 exemplifica uma ArqComPro com dois nós avulsos desconectados dos EDT, mas conectados ao enlace central; um dos nós compartilha informações de radar, enquanto o outro provê uma via para a troca de informações por meio de constelações de mini e microsatélites.⁶⁴ Vê-se ainda um enlace verde, que estende o monitoramento por uma rede de sensores sem fio.⁶⁵ A ArqComPro, portanto, usa seu enlace central para agregar outros elementos diferentes de EDT, sejam eles nós avulsos ou sistemas de monitoramento, que trazem consigo tecnologias indisponíveis ao conjunto.

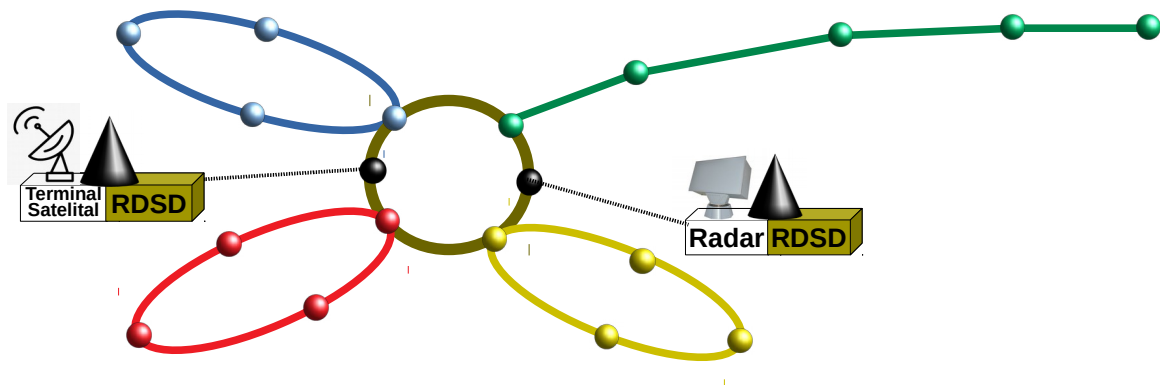


FIGURA 34 – A ArqComPro é capaz de agregar novas tecnologias.

⁶⁴ Microsatélite é um satélite artificial com massa entre 100 e 500 Kg, enquanto o minissatélite tem massa entre 10 e 100 Kg.

⁶⁵ Uma rede de sensores sem fio é formada por dispositivos de sensoriamento que são dispostos no ambiente e estabelecem, autonomamente, uma rede de comunicações para o envio de informações.

O aspecto de modularidade se consolida pela relação entre os elementos que compõem a ArqComPro, considerados módulos independentes que se encaixam e desencaixam do enlace central sem provocarem distúrbios na organização da ArqComPro.

Atender a todas as premissas doutrinárias confere robustez à ArqComPro, mas a inoperância de *gateways* ligados a EDT ainda causa prejuízos à interoperabilidade total e à consciência situacional geral, pois os EDT em questão desconectam-se do enlace central. A solução para isso seria criar o *gateway* reserva, um outro nó que pertença ao EDT e que também esteja conectado ao enlace central e pronto para assumir as funções do *gateway* principal. Na ArqComPro, acrescentar um *gateway* significa dotar qualquer nó do EDT de apenas um MDLP-Defesa e um RDS-Defesa com FO do enlace central, como mostrado na FIG. 35, diferentemente do que acontece nas Arq1 e Arq2, em que aumentar o número de *gateways* significa dotar o nó de um MDLP-Defesa e também acrescentar um ou mais conjuntos sis-rad.

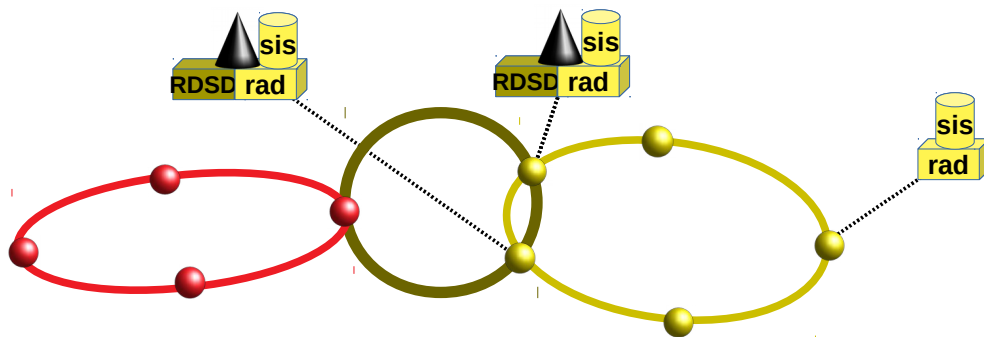


FIGURA 35 – O EDT amarelo aumenta sua robustez com dois *gateways*.

Ter um *gateway* reserva implica, em contrapartida, aumentar a lógica de controle do MDLP-Defesa para manter esse *gateway* inativo e evitar que uma mesma mensagem seja replicada mais de uma vez nos enlaces, tanto no central, se a mensagem vier do EDT, quanto no EDT, se a mensagem vier do enlace central.

5.3.3 ArqComPro e a Interoperabilidade entre os EDT das FA

Consumada a ArqComPro, mostra-se, na FIG. 36, a organização que ela assumiria para promover a interoperabilidade entre os EDT das FA. Observando-se a FIG. 36a, percebem-se os seguintes componentes da ArqComPro: Link BR1 e Link BR2, como EDT da FAB, que não interoperam; GCB (Gerenciador do Campo de Batalha) e C2 em Combate, como soluções de C2 do EB, que também não interoperam com os EDT das demais FA; Link

Yb, SIC2MB,⁶⁶ STERNA e Link A,⁶⁷ como EDT da MB, considerando-se que os dois primeiros já estão em operação e não interoperam e os demais ainda vão entrar em operação; e a FOIEDT (Forma de Onda de Interoperabilidade de EDT),⁶⁸ como a FO que opera no RDS-Defesa, responsável pela geração e controle do enlace central e que provê, na camada de Interoperabilidade Física, o arcabouço para a troca de mensagens entre os *gateways*.

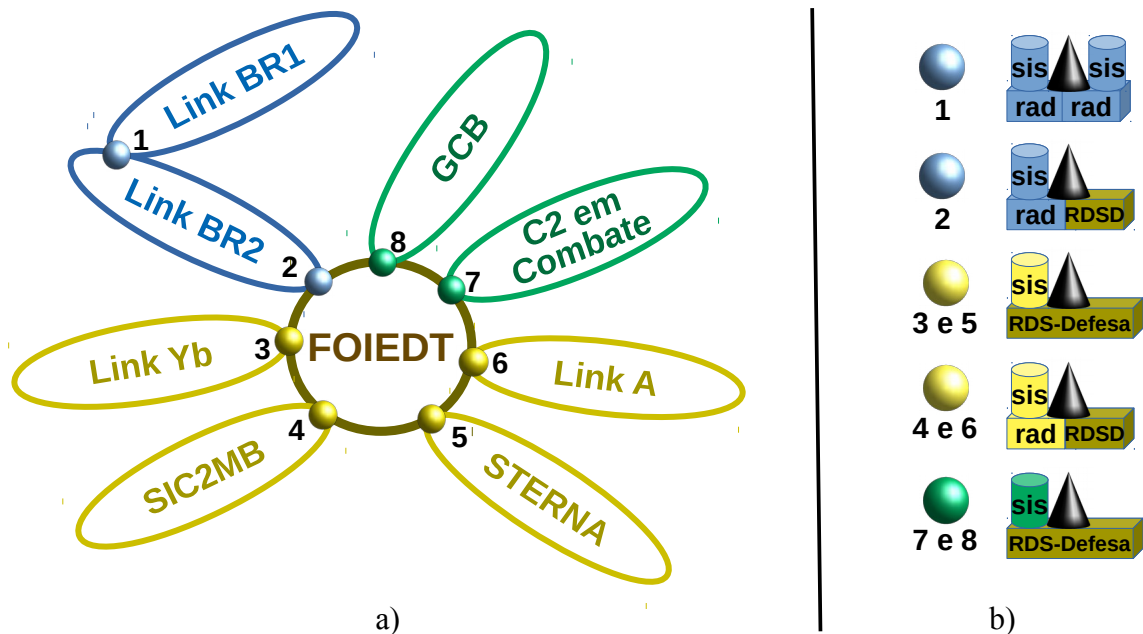


FIGURA 36 – A ArqComPro promove a Interoperabilidade Técnica entre os EDT das FA.

- a) A organização da ArqComPro com os EDT que já estão em operação e com os que ainda entrarão em operação.
- b) Configuração dos *gateways*.

Ainda quanto à FIG. 36a, aponta-se a versatilidade dessa organização arquitetural: Arq1 e ArqComPro coexistem para promover uma interoperabilidade mais abrangente. A Arq1, nessa caso, conecta o Link BR1 e o Link BR2, dois EDT exclusivos da FAB. Não haveria empecilhos técnicos para o Link BR1 conectar-se à ArqComPro, mas ele tem características de pouca mobilidade em razão de suas estações fixas de solo. Apesar das deficiências de arquiteturas como a Arq1 em prover a interoperabilidade quando *gateways*

66O Sistema Integrado de Comando e Controle da Marinha do Brasil (SIC2MB), na verdade, extrapola o conceito de EDT e se constitui do sistema Torch-X, uma solução de C4-ISR (*Command, Control, Communications, Computers – Intelligence, Surveillance and Reconnaissance*) da empresa israelense Elbit, que o Corpo de Fuzileiros Navais adquiriu para proporcionar o C2 em um Grupamento Operativo de Fuzileiros Navais, nível Unidade Anfíbia. O sistema possui os seguintes módulos: Gerenciamento da Área de Operações (ou campo de Batalha); Guerra Eletrônica; Comunicações; e Artilharia. Todos os módulos são independentes e interoperáveis entre si.

67O Link A equipará as Fragatas Classe Tamandaré.

68A FOIEDT ainda está em desenvolvimento, mas pode ser resultado de adaptações em uma FO já foi desenvolvida e testada no RDS-Defesa.

centrais são usados, a Arq1 tem eficácia quando conecta apenas dois EDT, situação mostrada na FIG. 36a, e quando suas camadas físicas não podem ser substituídas pelo RDS-Defesa, conforme confirmado pela configuração do *gateway* 1 mostrada na FIG. 36b.

A FIG. 36b identifica as configurações de todos os *gateways*, que sempre empregam o MDLP-Defesa. O *gateway* 1 conecta os Links BR1 e BR2 e usa as camadas físicas legadas desses Links, pois os elementos rad e sis do BR1 operam integrados e o elemento rad do BR2 opera com um RDS da empresa AEL, cuja FO implementa a rede de comunicação dos componentes do enlace e também está integrado ao elemento sis. Os demais *gateways* estão conectados ao enlace central da ArqComPro e usam o RDS-Defesa com uma ou duas interfaces de RF. Os *gateways* 2, 4 e 6 trabalham com EDT cujas camadas físicas não podem ser substituídas em face das peculiaridades dos enlaces; portanto, notam-se o RDS-Defesa com uma interface de RF e um elemento rad. Em contrapartida, os *gateways* 3, 5, 7 e 8 trabalham com EDT cujas camadas físicas podem ser substituídas; portanto, verifica-se o RDS-Defesa com duas interfaces de RF.

5.4 Provas de Conceito do MDLP-Defesa

Duas PoC do MDLP-Defesa, cujos objetivos, para este trabalho, estão descritos na TAB. 5, foram realizadas em junho e dezembro de 2020, com arquiteturas baseadas na ArqComPro.

TABELA 5
Objetivos das PoC do MDLP-Defesa.

Objetivo	Descrição
1	Validar a arquitetura de software do MDLP-Defesa em todas as suas três camadas definidas na FIG. 19, principalmente a implementação do barramento INTERC2.
2	Testar a capacidade do RDS-Defesa de gerar o enlace central por meio de uma FO já desenvolvida, cujos requisitos técnicos poderiam ser adaptados para transformá-la na FOIEDT.
3	Ratificar a eficácia da organização da ArqComPro.

As PoC em questão também estão registradas em Oliveira *et al.* (2020) e Botelho *et al.* (2021), mas, para seus artigos, elas tiveram apenas o Objetivo 1 da TAB. 5, já que foram explorados outros objetivos relacionados a eficiência e desempenho de protocolos de comunicações. Os resultados desses artigos mostraram a necessidade de as redes táticas

estarem segregadas da rede estratégica que emprega o INTERC2. Essa segregação, como já mostrado, pode ser conseguida com a ArqComPro.

PoC de junho de 2020

A FIG. 37 mostra a arquitetura da PoC realizada em junho de 2020. Nessa ocasião, não havia protótipos suficientes do RDS-Defesa que permitissem a todos os *gateways* conectarem-se ao enlace central. Assim, já que não se poderia usar o RDS-Defesa, decidiu-se implementar o enlace central por meio da RECIM e abolir as comunicações em RF, conectando-se todos os elementos da PoC por redes cabeadas, conforme se pode verificar na figura. Os *gateways*, envolvidos por um círculo vermelho, eram quatro minicomputadores onde o MDLP-Defesa foi executado, ratificando-o como um *software* que se processa sobre uma camada física (no caso, os minicomputadores) e independentemente dela. Em outros três minicomputadores, instalados na DSAM, no Centro de Tecnologia da Informação da Marinha (CTIM) e no Instituto de Pesquisas da Marinha (IPqM), foram executados simuladores de GCB, Link BR1 e Link Yb, gerando-se mensagens que indicavam o deslocamento de um carro de combate, um avião, um submarino e um navio. Cada simulador usava o protocolo de comunicação e o modelo de dados do EDT ao qual estava associado.

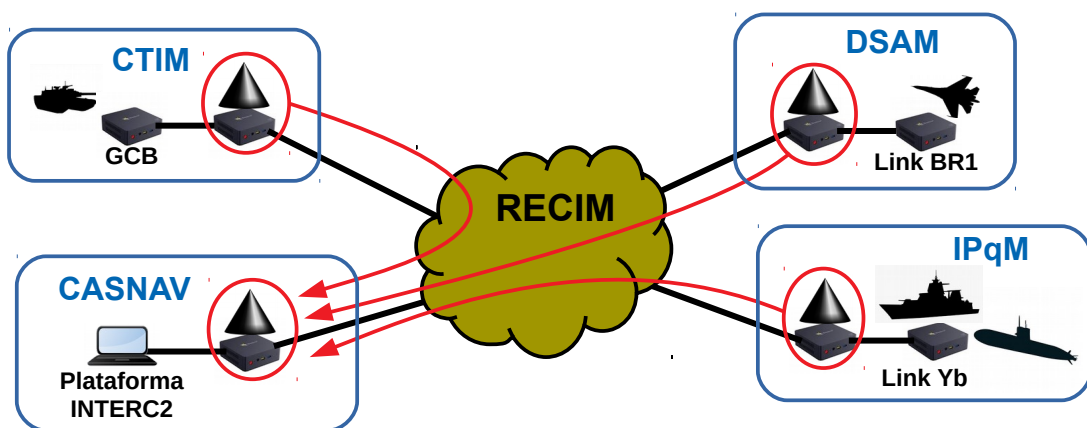


FIGURA 37 – Arquitetura da PoC realizada em junho de 2020.

Na PoC de junho, os testes foram simples, pois os simuladores limitaram-se a enviar mensagens, por meio da RECIM, a seus *gateways*, que as recebiam pelo protocolo adequado e enviavam-nas ao *gateway* do CASNAV, onde eram convertidas para o barramento INTERC2 e novamente enviadas a um computador com a Plataforma INTERC2 e um programa gráfico. As setas vermelhas da FIG. 37 indicam o fluxo das mensagens em apenas uma direção.

Apesar da limitação da PoC, alcançou-se o **Objetivo 1** satisfatoriamente, pois o

MDLP-Defesa trabalhou eficazmente em todas as camadas de sua arquitetura de software da seguinte forma: comunicou-se, pela camada inferior, com três diferentes protocolos de EDT; converteu, na camada central, os modelos de dados desses EDT para o modelo usado pelo INTERC2; e interagiu, pela camada superior, com a plataforma INTERC2 do computador com o programa gráfico. Oliveira *et al.* (2020) também analisaram os resultados da PoC de junho de 2020 e ratificaram a conquista do **Objetivo 1**, mas ressaltaram que, em redes táticas, em que não são altas as taxas de transmissão de dados, é necessário usar os protocolos de comunicação dos EDT e reservar o protocolo do barramento INTERC2 para interagir apenas com o nível estratégico, que usa como portal enlaces satelitais com taxas de transmissão de dados mais elevadas.

A ausência do RDS-Defesa na PoC não permitiu alcançar o **Objetivo 2**, mas a decisão de usar a RECIM para fazer as funções de enlace central da ArqComPro surgiu das características da FOIEDT, que, quando estiver operacional, implementará um controle que evitará conflitos de comunicações entre os participantes do enlace.

Quanto ao **Objetivo 3**, apesar de não se ter o enlace central implementado pelo RDS-Defesa, pode-se afirmar que a arquitetura montada simulou a organização de uma ArqComPro e mostrou-se eficaz, pois todas as mensagens chegaram ao seu destino sem dependerem de ações intermediárias de outros *gateways*, sem conflitos de comunicações e sem atrasos que poderiam ser gerados por redes de outros EDT. Na verdade, substituir o RDS-Defesa pela RECIM não degradaria a performance da PoC se ela fosse efetivamente realizada com os rádios, pois as tarefas de controlar o acesso ao meio e evitar conflitos de comunicações são bem executadas pelos protocolos da RECIM. Contudo, não se pode usar a RECIM no TO, onde as comunicações são tipicamente *ad hoc*.

Na FIG. 38, está exposta uma das telas do programa gráfico que permitiu acompanhar o deslocamento simulado dos acompanhamentos.

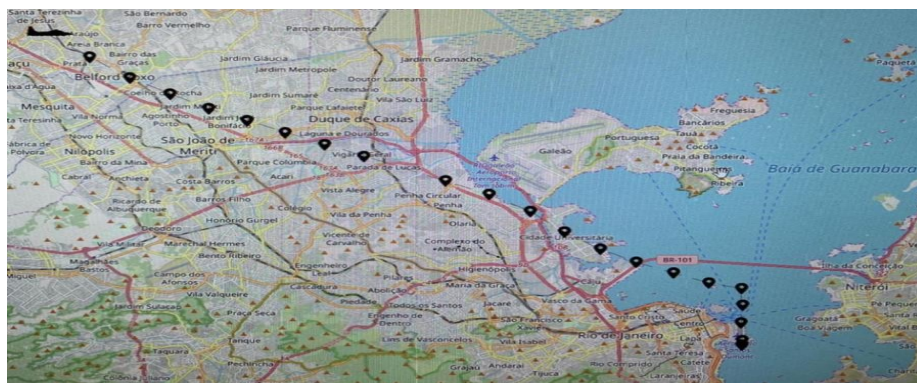


FIGURA 38 – Registro do deslocamento simulado da aeronave.
Fonte: Oliveira *et al.*, 2020, p. 17.

PoC de dezembro de 2020

A FIG. 39 mostra a arquitetura da PoC realizada em dezembro de 2020. Nessa ocasião, ainda não havia protótipos suficientes do RDS-Defesa que permitissem a todos os *gateways* conectarem-se ao enlace central, portanto, novamente, decidiu-se implementar o enlace central por meio da RECIM. Entretanto, novos atores, alguns deles com comunicações em RF, foram introduzidos e elevaram a complexidade da PoC. O IpqM acrescentou o simulador do STERNA, ao qual coube enviar o acompanhamento de um navio, enquanto o Link Yb enviava o submarino. No CTIM, o acompanhamento do carro de combate passou a ser transmitido por dois RDS-Defesa. No CASNAV, a FAB instalou seus sistemas ATRIO e ENGINE, incumbidos de enviar, respectivamente, por enlaces de RF, simulações de mensagens de radar e de geolocalização. No Comando de Operações Navais (ComOpNav), o SisNC2 passou a receber, por meio do INTERC2, todos os acompanhamentos gerados pelos simuladores da PoC. Decidiu-se que as comunicações em RF seriam realizadas em ambiente controlado para facilitar a logística das atividades de preparação e execução, portanto, tanto no CTIM quanto no CASNAV, os rádios foram dispostos em bancadas, separados por distâncias próximas a 1 metro e com baixa potência de transmissão.

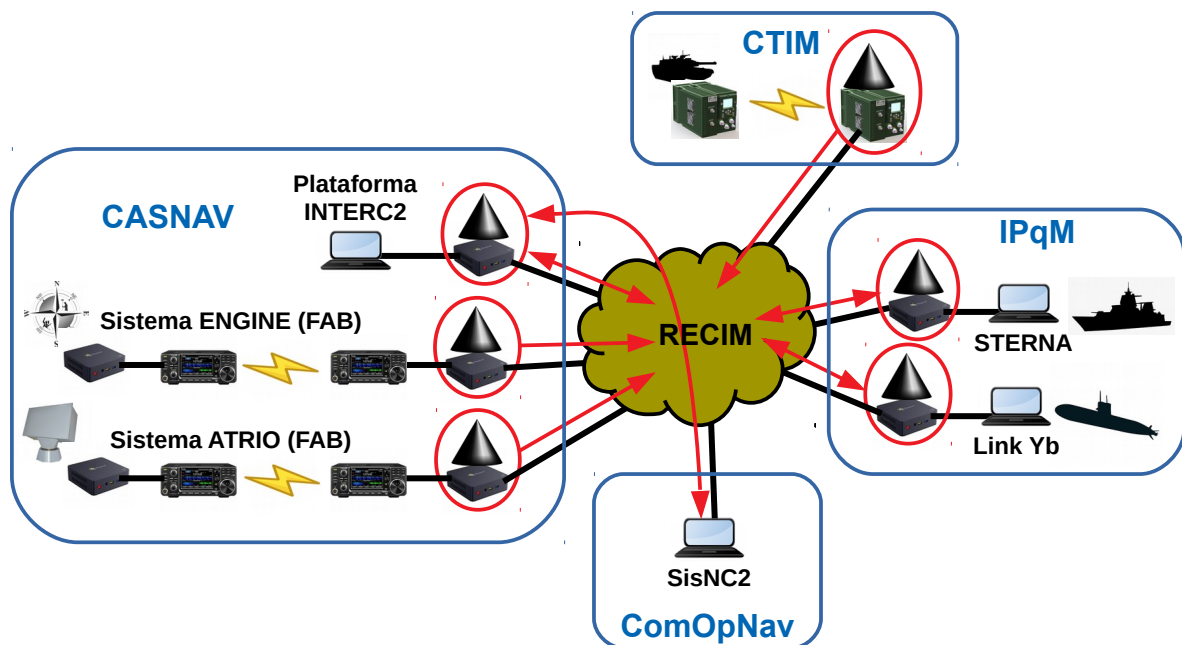


FIGURA 39 – Arquitetura da PoC realizada em dezembro de 2020.

Os deslocamentos dos acompanhamentos simulados foram acompanhados em quatro pontos de monitoramento: dois no IPqM, nas telas dos simuladores do Link Yb e do STERNA; um no CASNAV, no programa gráfico do computador com a Plataforma

INTERC2; e um no ComOpNav, no painel gráfico do SisNC2.

Importantes aspectos podem ser realçados no conteúdo da FIG. 39. Além de o número de *gateways* ter aumentado, três deles (o do CASNAV ligado à Plataforma INTERC2 e os do IPqM) enviaram e receberam mensagens, conforme indicam as setas vermelhas, exigindo maior desempenho do *software* do MDLP-Defesa. O SisNC2, que opera no nível estratégico e já está integrado ao barramento INTERC2 da ROD, interoperou com todos os elementos do nível tático da PoC, resultado até então nunca alcançado em testes como esse, em que atuam concomitantemente tipos diversos de meios. Os sistemas ATRIO e ENGINE da FAB, elementos que não são EDT, integraram-se à RECIM por meio de seus *gateways*. Quanto aos dois RDS-Defesa, que também são compostos por um computador, o sistema operacional de um dos rádios recebeu o MDLP-Defesa, enquanto o sistema operacional do outro rádio recebeu o simulador do GCB, dispensando-se o uso de minicomputadores adicionais. O fato mostrou a versatilidade do RDS-Defesa e reforçou a independência do MDLP-Defesa em relação à camada física. A FO que operou no RDS-Defesa não apresentou qualquer problema durante a PoC e revelou possuir características técnicas que lhe permitem uma adaptação para operar como FOIEDT.

O exposto compõe argumentos suficientes para se justificar que a PoC de dezembro alcançou os **Objetivos 1 e 3**, principalmente por mostrar uma arquitetura capaz de agregar diferentes tecnologias, representadas por EDT e sensores. Botelho *et al.* (2021) corroboram esse entendimento. Embora se compreenda que o **Objetivo 2** não tenha sido atingido em plenitude, o desempenho do RDS-Defesa apontou-o em condições técnicas de produzir o enlace central da ArqComPro quando estiver operando com a FOIEDT.

5.5 ArqComPro e o Sistema de Gerenciamento da Amazônia Azul

A Amazônia Azul[®], de acordo com a Doutrina Militar Naval, “é a região que compreende a superfície do mar, águas sobrejacentes ao leito do mar, solo e subsolo marinhos contidos na extensão atlântica que se projeta a partir do litoral até o limite exterior da Plataforma Continental brasileira.” (BRASIL, 2017, p. 1-2) Diante da importância econômica, científica e ambiental dessa área, com grande impacto na soberania do Brasil, foi concebido o Sistema de Gerenciamento da Amazônia Azul (SisGAAz), uma reunião de elementos e sistemas de monitoramento, ainda em estágio inicial de desenvolvimento, que devem operar em conjunto para prover, em tempo real e de forma abrangente, a consciência situacional da Amazônia Azul.

As expressões “consciência situacional” e “operar em conjunto” remetem a interoperabilidade, que ganha efetividade com a ArqComPro, cujas versatilidade e flexibilidade, mormente expressadas pela FIG. 34, podem ser exploradas para cobrir os 4,5 milhões de Km² que representam a Amazônia Azul[®]. Materializando esse pensamento, RDS-Defesa e MDLP-Defesa, organizados em uma ArqComPro que atenda a uma extensa área de cobertura, podem garantir a Interoperabilidade Técnica entre EDT, sistemas e sensores diversos e transferir as informações do nível tático da Amazônia Azul[®] ao nível estratégico do SisMC2.

Os detalhes da organização da ArqComPro do SisGAAz levarão em consideração os requisitos operacionais e técnicos desse SdS e as características de todos os sensores e sistemas que deverão interoperar. Esse arcabouço determinará: a forma de atuação dos diversos MDLP-Defesa, que podem mesclar unidirecionalidade, quando trabalharem com sensores, ou bidirecionalidade, quando trabalharem com sistemas como os EDT; e os parâmetros da FO do RDS-Defesa que criará o enlace central, entendendo-se que tal FO poderá ser a própria FOIEDT ou outra resultante de adaptações da FOIEDT.

A estratégia de usar a ArqComPro no SisGAAz fundamenta-se em evitar arquiteturas que trabalhem com *gateways* cujas inoperâncias dividem e isolam partes consideráveis da rede de comunicações, como acontece com a Arq1 quando opera com *gateways* centrais (FIG. 25); fundamenta-se também em valorizar uma solução com tecnologia nacional, que será produzida pela BID do Brasil, preservando-se, acima de tudo, a segurança e a autonomia tecnológicas e garantido-se a logística de manutenção. A organização da ArqComPro do SisGAAz pode até incluir uma ou mais Arq1, mas todas elas deverão evitar os *gateways* centrais, como fez a ArqComPro da FIG. 36a.

Relembrando-se o alerta de Filho *et al.* (2017) quanto às fragilidades de segurança de um RDS importado que o deixam suscetível a diversos tipos de ataques cibernéticos, compreende-se que a solução para integrar um SdS como o SisGAAz, se for importada, será tão insegura e suscetível a ataques cibernéticos quanto o RDS importando. Dessa forma, mesmo que alguns dos sistemas que compõem o SisGAAz não sejam nacionais, assevera-se que deve ser nacional a solução para prover a interoperabilidade entre todos os componentes desse SdS estratégico.

5.6 ArqComPro, Interoperabilidade e Guerra Centrada em Redes

A doutrina entende que

[...] a chave essencial e insubstituível para a interoperabilidade das forças empregadas nas operações militares será sempre o domínio cognitivo representado pelo fator humano. Os conceitos atinentes à forma de combater, característica da era da informação [...], indicam que as FA e o MD devem perseverar em seu esforço diuturno, empreendido em todos os níveis de decisão, na busca da interoperabilidade (BRASIL, 2015a, p. 44).

O domínio cognitivo encontra-se nas mentes das pessoas e abrange a percepção, a consciência, os entendimentos, as crenças, os valores, as decisões, um conjunto de bens intangíveis resultantes da visão pessoal de cada indivíduo, de sua bagagem cultural, sua experiência, seu treinamento, seus valores e sua capacidade, que permitem a compreensão das intenções do comandante, da doutrina, das táticas, das técnicas e dos procedimentos (BRASIL, 2015a).

As camadas da Interoperabilidade Técnica, já analisadas no Capítulo 2 deste trabalho, podem receber *hardwares* e *softwares* que executem as tarefas de interoperabilidade de forma autônoma e automática, tornando-se independentes da atuação humana. Isso ainda não acontece no TO para as forças militares brasileiras, pois, conforme já mostrado, os atuais níveis de interoperabilidade dos EDT e dos SisC2 dos meios são superam o nível 1 e exigem comunicações por fonia para que a consciência situacional seja disseminada entre as FA.

Empreendendo-se a ArqComPro, os EDT conseguirão se comunicar de forma automática, e o SisMC2 estará apto a superar o nível 3 de interoperabilidade. **Dessarte, com a ArqComPro, a Interoperabilidade Técnica do SisMC2 fica independente do fator humano.**

Relembrando-se a Guerra Centrada em Redes, verifica-se que ela está diretamente relacionada à consciência situacional compartilhada pela interoperabilidade e que ela também pode ser entendida como uma forma de aumentar o poder de combate se forem implementadas as capacidades associadas aos seus três domínios, o físico,⁶⁹ o da informação⁷⁰ e o cognitivo (BRASIL, 2015a).

Associando-se esses domínios ao modelo estratificado da interoperabilidade, tem-se a Interoperabilidade Técnica atrelada aos domínios físico e da informação, enquanto o domínio cognitivo prende-se à Interoperabilidade Organizacional. **Implementar a ArqComPro, portanto, implica implementar capacidades de dois domínios da Guerra Centrada em Redes.**

Contrariamente ao que acontece na Interoperabilidade Técnica, ainda não se

69O domínio físico é representado pelo ambiente do conflito, em que residem as plataformas de combate e as redes que as interconectam (BRASIL, 2015a).

70O domínio da informação é composto pelos SisC2, em que dados e conhecimentos são gerados e manipulados (BRASIL, 2015a).

vislumbra a possibilidade de se suplantar o fator humano na Interoperabilidade Organizacional do SisMC2 com o uso de *hardwares* e *softwares*. **Implementar a ArqComPro, entretanto, não implica implementar as capacidades do domínio cognitivo da Guerra Centrada em Redes.**

Descortina-se, por conseguinte, a necessidade de se burilar a influência do fator humano na Interoperabilidade Organizacional do SisMC2 e na Guerra Centrada em Redes, de modo que o desempenho das FA, em um conflito armado, convirja para os efeitos desejados.

6. CONCLUSÃO

Estratificar a interoperabilidade por um modelo de camadas é uma ação eficaz para diagnosticar a sua falta e elaborar as medidas que permitam a sua implementação ou a sua melhoria. O modelo de camadas de Tolk analisado neste trabalho mostrou-se uma ferramenta também eficiente, com potencial para diagnosticar a interoperabilidade entre instituições ou sistemas e para também delinear as ações necessárias a melhorar esse diagnóstico.

Antes mesmo de se adotar o modelo de Tolk, a situação da interoperabilidade é percebida, e essa percepção se processa pragmática e empiricamente, quando sistemas ou instituições não conseguem interagir da forma que se espera e exigem atitudes que acabam se processando de formas pouco eficientes, muitas vezes ineficazes, para se contornarem os problemas gerados. O empirismo e o pragmatismo na percepção da situação da interoperabilidade foram suplantados pelo modelo LISI, que cientiza e parametriza essa percepção, atribuindo-lhe níveis de acordo com a infraestrutura de comunicações empregada. O modelo LISI, conseqüentemente, consegue notificar instituições e usuários de sistemas acerca do nível de interoperabilidade alcançado nas interações com outras instituições e sistemas.

Compreendeu-se que tanto o modelo LISI quanto o modelo de Tolk são padrões mutáveis, suscetíveis a alterações que lhes permitam adaptações a realidades específicas. Usados em conjunto, eles são ferramentas importantes para se estabelecer o nível de interoperabilidade percebido e construir o diagnóstico dessa interoperabilidade.

A importância dos modelos em questão ficou notória na investigação do problema apontado neste trabalho e na proposta de solução para ele. Há mais de quinze anos, percebe-se a falta de interoperabilidade entre os EDT das FA brasileiras, uma adversidade que ocorre em todas as operações conjuntas, prejudica a obtenção da consciência situacional do TO e pode ditar os rumos da guerra.

O modelo LISI permitiu quantificar a interoperabilidade entre os EDT das FA, atribuindo-lhe o nível 0, e o modelo de Tolk exitou em lhe revelar o diagnóstico, situando as causas do problema nas camadas da Interoperabilidade Técnica. Apesar de todos os esforços empreendidos pelo MD para se atingir o nível 3 de interoperabilidade pretendido para o SisMC2, tornou-se claro que esses esforços, não obstante o desenvolvimento do INTERC2 na ROD, concentraram-se nas camadas da Interoperabilidade Organizacional, mas a solução para a falta de interoperabilidade entre os EDT das FA estava nas quatro camadas da

Interoperabilidade Técnica. O modelo de Tolk também foi útil para se identificar que a ROD implementa as duas primeiras camadas da Interoperabilidade Técnica do SisMC2, fato que compôs a solução da Questão de Estudo.

O correto enquadramento do problema nas quatro camadas citadas e a conjugação de atributos técnicos tomados como fatores positivos do RDS-Defesa e do MDLP-Defesa, dois projetos do MD em estágios avançados de desenvolvimento, compuseram os alicerces para se propor a ArqComPro como solução para a Questão de Estudo. A ArqComPro revelou-se uma arquitetura de comunicações promissora, capaz de atender a todas as premissas doutrinárias estabelecidas como condições necessárias para contribuir com o trabalho de evolução do SisMC2; e capaz de agregar também sistemas diferentes dos EDT, tornando a interoperabilidade uma realidade mais abrangente.

O processo de análise que culminou na ArqComPro revelou não apenas uma arquitetura promissora, mas restrições ao desenvolvimento da estratégia de guerra se forem usadas outras duas arquiteturas, a Arq1 e a Arq2, julgadas insatisfatórias por contrariarem pelo menos uma premissa doutrinária.

O potencial da ArqComPro foi confirmado com os resultados de duas PoC, executadas, por meio de simuladores, no ambiente controlado de laboratórios. Nesse ambiente, em que a RECIM foi usada como enlace central da ArqComPro, os testes atingiram os objetivos propostos e ratificaram a solução para a Questão de Estudo, pois promoveram a interação entre todos os seus elementos participantes e fizeram chegar ao SisNC2, por meio do barramento INTERC2, as informações do nível tático, compartilhando a consciência situacional do TO com o nível estratégico do SisMC2. Com a realização das PoC, infere-se que a ArqComPro, alicerçada no RDS-Defesa e no MDLP-Defesa, eliminará o problema da falta de Interoperabilidade Técnica entre os EDT das FA.

Importante aplicação da ArqComPro, que extrapola sua motivação inicial mas que se permite por seu potencial, é a integração dos componentes do SisGAAz, garantindo-se a esse SdS autonomia, logística, robustez cibernética e, principalmente, a valorização da tecnologia nacional.

Além do exposto, análises mostraram que a implementação da ArqComPro deixará a Interoperabilidade Técnica do SisMC2 livre da influência do fator humano e ainda trabalhará capacidades de dois domínios da Guerra Centrada em Redes, mas não conseguirá sobrepujar o fator humano na Interoperabilidade Organizacional do SisMC2 nem trabalhar as capacidades do domínio cognitivo da Guerra Centrada em Redes, o que leva a propor, como tarefas futuras, pesquisas nessa área.

REFERÊNCIAS

- BOTELHO, Tomás de A. T.; SÁ, Manoel Pedro; CALVELLI, Jorge Eduardo; LARA, Patrick B. A. de. Interoperabilidade de Comando e Controle: Barramento de Comunicação SOA. In: SIGE – SIMPÓSIO DE APLICAÇÕES OPERACIONAIS EM ÁREAS DE DEFESA, XVII., 2015, São José dos Campos. *Trabalhos Técnicos...* Disponível em: <https://www.sigeold.ita.br/anais/XVIISIGE/pdf/ST_4_2.pdf>. Acesso em: 07 ago. 2021.
- BOTELHO, Tomás de A. T.; CECILIO, Edmundo L.; OLIVEIRA, Anderson Ferreira de. A Distributed Architecture for Tactical Data Link Interoperability. In: INTERNATIONAL COMMAND AND CONTROL RESEARCH AND TECHNOLOGY SYMPOSIUM, 26., 2021, Quebec. *Trabalhos Técnicos...* Disponível em: <<https://drive.google.com/file/d/1trz8K5U2ymoLIARH-heqoGUEu2YpkThW/view>>. Acesso em: 30 out. 2021.
- BRASIL. Marinha do Brasil. *EMA-305 – Doutrina Militar Naval*. 1. ed. Brasília, 2017.
- BRASIL. Ministério da Defesa. *Estratégia Nacional de Defesa*. Brasília, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/defesa/pt-br/assuntos/copy_of_estado-e-defesa/pnd_end_congresso_.pdf>. Acesso em: 30 jul. 2021.
- BRASIL. Ministério da Defesa. *MD31-M-03 – Doutrina para o Sistema Militar de Comando e Controle*. 3. ed. Brasília, 2015a. Disponível em: <https://www.gov.br/defesa/pt-br/arquivos/File/doutrinamilitar/listadepublicacoesEMD/MD31a_p01a_pola_sismc2a_2eda_2015.pdf/view>. Acesso em: 14 fev. 2021.
- BRASIL. Ministério da Defesa. *MD31-S-02 – Conceito de Operações do Sistema Militar de Comando e Controle*. 1. ed. Brasília, 2015b. Disponível em: <https://www.gov.br/defesa/pt-br/arquivos/doutrina_militar/lista_de_publicacoes/md31a_sa_02a_conopsa_sismca_1a_eda_2015.pdf/view>. Acesso em: 14 fev. 2021.
- BRASIL. Ministério da Defesa. *MD35-G-01 – Glossário das Forças Armadas*. 5 ed. Brasília, 2015c. Disponível em: <<https://www.defesa.gov.br/arquivos/legislacao/emcfa/publicacoes/doutrina/md35-G-01-glossario-das-forcas-armadas-5-ed-2015-com-alteracoes.pdf>>. Acesso em: 7 mar. 2021.
- BRASIL. Ministério da Defesa. *Portaria n. 1.976*, de 8 de agosto de 2014. Brasília. DOU n. 163, Seção 1, 26 ago. 2014. p. 9.
- ESCOLA NACIONAL DE ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA. *Introdução à Interoperabilidade*. 2015. Brasília, DF: Disponível em: <https://repositorio.enap.gov.br/bitstream/1/2399/1/M%C3%B3dulo_1_EPING.pdf>. Acesso em: 6 mar. 2021.
- FILHO, Hildo Vieira Prado; GALDINO, Juraci Ferreira; MOURA, David Fernandes Cruz. Pesquisa e Desenvolvimento de Produtos de Defesa: Reflexões e Fatos sobre o Projeto Rádio Definido por Software do Ministério da Defesa à luz do Modelo de Inovação em Trílice Hélice. *Revista Militar de Ciência e Tecnologia*, Brasília, v. XXXIV, n. 14, 2017. Disponível

em: <http://rmct.ime.eb.br/arquivos/RMCT_1_sem_2017/artigo1_2017.pdf>. Acesso em: 07 ago. 2021.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Maria de Andrade. *Fundamentos de metodologia científica*. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2005. 315 p.

LUTTWAK, Edward N.. *Estratégia – A Lógica da Guerra e da Paz*. Revisada e incrementada. ed. Rio de Janeiro: Biblioteca do Exército Editora, 2009. 368p.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. *Realizing the Potential of C4I: Fundamental Challenges*. 1999. Washington, DC: Disponível em: <<https://doi.org/10.17226/6457>>. Acesso em: 19 fev. 2021.

OLIVEIRA, Anderson Ferreira de; CECILIO, Edmundo L.; BOTELHO, Tomás de A. T.. Tactical Interoperability with JC3IEDM: Performance Measurements. In: INTERNATIONAL COMMAND AND CONTROL RESEARCH AND TECHNOLOGY SYMPOSIUM, 25., 2020, Southampton. *Trabalhos Técnicos...* Disponível em: <<https://drive.google.com/file/d/1298hi3vAKt9unJdpmGjopfwgPKa2ploe/view>>. Acesso em: 07 ago. 2021.

STOICA, Anca; MILITARU, Diana; MOLDOVEANU, Dan; POPA, Alina. Tactical Data Link – From Link 11 to Link 22. *Naval Academy Scientific Bulletin*, Romênia, v. XIX, Issue 2, 6 p. Disponível em: <https://www.anmb.ro/buletinstiintific/buletine/2016_Issue2/MES/317-322.pdf>. Acesso em: 19 fev. 2021.

TANEMBAUM, Andrew S.. *Redes de Computadores*. 4. ed. São Paulo: Elsevier, 2003. 945p.

TOLK, Andreas. Beyond Technical Interoperability: Introducing a Reference Model for Measures of Merit for Coalition Interoperability. In: INTERNATIONAL COMMAND AND CONTROL RESEARCH AND TECHNOLOGY SYMPOSIUM, 8., 2003, Washington D.C. *Trabalhos Técnicos...* Disponível em: <<https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA466775.pdf>>. Acesso em: 19 fev. 2021.

WIRELESS INNOVATION FORUM. *Principles of WinnForum Facility Standards*. 2020. Reston, Virginia: Disponível em: <https://winnf.memberclicks.net/assets/work_products/Reports/WINNF-TR-2007.pdf>. Acesso em: 16 ago. 2021.