ISSN: 1983 7402 ITA, 01 a 03 OUT 2024

Requisitos para um Sistema de Aeronave Remotamente Pilotada de Ataque

Douglas Estevam Casale[1], Rafaela Campos da Silva[1], Carlos Henrique Netto Lahoz[1], Luís Eduardo Vergueiro Loures da Costa[1]
[1]Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São José dos Campos/SP – Brasil

***Resumo* – O presente trabalho tem como objetivo apresentar um método para captura de requisitos de sistemas, e aplicá-lo para o projeto de um Sistema de Aeronave Remotamente Pilotada de Ataque. Este sistema visa a atender às necessidades operacionais do Exército Brasileiro no cumprimento de suas missões constitucionais, abrangendo não só a situação de guerra, mas também a cooperação interagências em situações de não-guerra contra a prática de diversos ilícitos. A partir da identificação da necessidade de missão, bem como os objetivos, metas, restrições e premissas do projeto e a confecção dos diagramas de Conceito de Operações e de Casos de Uso, foi possível capturar os principais requisitos para o sistema em questão. Por fim, concluiu-se que o método se mostrou efetivo para atingir os resultados pretendidos, com o trabalho podendo ser complementado e refinado posteriormente para se estabelecer o conceito completo do sistema.**

***Palavras-Chave* – Requisitos de sistema, Sistema de Aeronave Remotamente Pilotada, Engenharia de Sistemas.**

I. INTRODUÇÃO

Os avanços tecnológicos impõem desafios às forças armadas modernas, que devem se adaptar e realizar estudos constantes para se manterem capazes de fazer frente a ameaças em um ambiente dinâmico e multidimensional.

Para uma nação com território continental, como o Brasil, essa empreitada ganha ainda mais importância, dada a dificuldade em integrar, controlar e defender um território de cerca de 8,5 milhões de km^2. Assim, o vetor aéreo é essencial para garantir a velocidade de resposta e poder de fogo exigidos para essa missão.

Dados os diferentes tipos de ameaças (invasões estrangeiras, tráfico de drogas internacional, exploração ilegal de recursos naturais etc.) que podem se apresentar sequencialmente ou simultaneamente contra a soberania e até mesmo a segurança pública e controle de fronteiras, esse poder aéreo não pode ser exercido com a eficácia necessária por apenas uma instituição (a Força Aérea Brasileira), sem o apoio das demais. Desta forma, uma ampla e contínua atividade de vigilância interagências faz-se necessária, incluindo a instituição de maior capilaridade no território nacional: o Exército Brasileiro.

Devido aos motivos apresentados, a Aviação do Exército (braço aéreo da Força Terrestre) precisa dispor dos meios para efetuar a projeção desse poder aéreo, com capacidade não só de transporte de tropas, vigilância e reconhecimento (das quais ela já dispõe atualmente), mas também letalidade.

Douglas Estevam Casale, casale.douglas@gmail.com; Rafaela Campos da Silva, rafacampos123@gmail.com; Carlos Henrique Netto Lahoz, carlos.lahoz@gp.ita.br; Luís Eduardo Vergueiro Loures da Costa, luis.loures@gp.ita.br.

Avanços tecnológicos e experiências de combate recentes em diversos conflitos ao redor do mundo têm demonstrado a eficácia, eficiência e potencialidade de Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas (SARPs) para causar destruição de equipamentos militares inimigos, bem como obter imagens de posicionamento de forças e eliminar alvos humanos de valor [1] [2]. Os SARPs ainda apresentam como vantagens sobre aeronaves tripuladas o menor custo de aquisição, operação e manutenção, bem como menor exposição da vida de seus operadores durante o cumprimento das missões [3], e sua utilização coaduna com a tendência de se atribuir missões de combate a aeronaves mais leves, menores e mais baratas [4].

Conclui-se deste contexto que um SARP com capacidade de ataque pode prover à Aviação do Exército a possibilidade de projetar poder aéreo letal, de modo a complementar suas potencialidades e permitir o cumprimento das missões constitucionais do Exército Brasileiro, contribuindo para a soberania nacional.

Assim, o presente trabalho objetiva apresentar um método de Engenharia de Sistemas e aplicá-lo para a captura de requisitos de um sistema capaz de prover um vetor aéreo com capacidade de ataque para o Exército Brasileiro no cumprimento de suas missões constitucionais.

II. REFERENCIAL TEÓRICO

Segundo a mais recente definição do INCOSE, a Engenharia de Sistemas é uma atividade transdisciplinar que dá suporte e possibilita a colaboração entre todas as disciplinas envolvidas na concepção de um produto, e sua aplicação pode ser feita de diferentes maneiras, em função de questões situacionais ou sua aderência ao problema que se deseje resolver [5]. O termo “transdisciplinaridade”, em substituição ao termo “interdisciplinaridade” adotado anteriormente, ressalta a importância de uma visão integrada do problema. Nessa abordagem, diferentes áreas do conhecimento interagem de forma colaborativa, transcendendo os limites de cada disciplina, ao invés de cada uma contribuir de maneira isolada com seu foco específico.

A Engenharia de Sistemas apresenta considerações relativas ao desempenho e ao custo ao longo de todo o ciclo de vida dos produtos. Esses princípios são empregados para aquisições na área de Defesa, conforme evidenciado por [6] [7], que costumam envolver sistemas complexos e de alto custo de aquisição, além de, em geral, serem operados durante algumas décadas.

Com relação aos custos, algo de grande importância quando se consideram uma aquisição pelo poder público, a Engenharia de Sistema foca em antecipar problemas e reduzir o custo comprometido ainda no início do projeto, que terá impacto na viabilidade final do produto desenvolvido. A falta de atenção às fases iniciais do desenvolvimento aumenta o dispêndio ao longo do ciclo de vida. Isso porque, como se pode

observar pela Fig. 1, em geral, os gastos totais com um produto, em trinta anos, podem ser cinco vezes superiores ao seu preço de aquisição [8] [9], o que é agravado caso a suportabilidade e manutenibilidade durante sua operação do produto não tenham sido bem estruturadas desde sua concepção [10] [11].

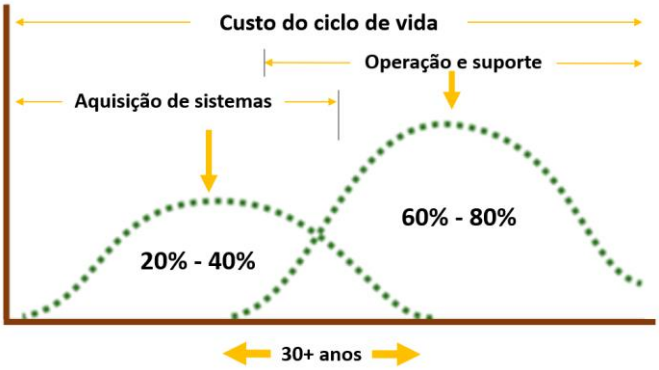

Fig. 1. Distribuição de custo ao longo do ciclo de vida, permitindo comparar o custo de aquisição do produto frente aos gastos para sua operação e suporte (adaptado de [9]).

Assim, vislumbra-se que as potencialidades de Engenharia de Sistemas possam contribuir para o atendimento de necessidades operacionais da Força Terrestre no que se refere à capacidade de ataque para sua aviação.

III. MÉTODO

Com a finalidade de se iniciar o desenvolvimento conceitual do sistema demandado pelo Exército Brasileiro, propõe-se a estruturação de um método de Engenharia de Sistemas para captura de requisitos, que emprega abordagens baseadas em documentação (o que se chama algumas vezes de Engenharia de Sistemas "Tradicional" ou "Legado" [12]) e em modelos [13] fundamentado pelos trabalhos de [14]-[19], composto de 7 (sete) etapas:

- **Etapa 1: Identificação da Necessidade de Missão**, em que a equipe de desenvolvimento irá esclarecer com os *stakeholders* do projeto a necessidade, em mais alto nível, que se busca atender com o desenvolvimento do sistema em questão. Essa necessidade deverá ser transcrita da linguagem do cliente para a linguagem de engenharia, conforme defendido pela literatura [18].
- **Etapa 2: Definição dos objetivos e metas do projeto**, com a decomposição da necessidade de missão em objetivos mais definidos, que irão esclarecer como a mesma será satisfeita, bem como a elucidação de quais valores quantitativos (metas) são adequados e suficientes para o cumprimento de cada objetivo.
- **Etapa 3: Identificação das restrições e premissas**, em que deverão ser levantadas as principais imposições externas ao projeto, suas interfaces ou sua operação em serviço, bem como premissas assumidas.
- **Etapa 4: Atribuição de responsabilidades**, com a designação dos principais papéis dos envolvidos no projeto.
- **Etapa 5: Desenvolvimento do Conceito de Operações**, com a determinação de conceitos para situações nominais (com o sistema operando nas condições para as quais foi construído) e não-nominais.
- **Etapa 6: Confecção dos diagramas de Casos de Uso**, apresentando as funções do sistema na perspectiva de seus usuários, para atingir os objetivos estabelecidos.
- **Etapa 7: Captura de requisitos de sistema**, propõe-se a utilização de modelos, por meio de diagramas de requisitos, que descrevam os requisitos funcionais e não funcionais, bem como seus relacionamentos.

Em relação à Etapa 6: Confecção dos diagramas de Casos de Uso, conforme descrito em [20], destaca-se que os casos de uso têm sido vistos como um mecanismo para capturar requisitos funcionais do sistema em termos de usos do sistema. Nos casos de uso, os usuários de um sistema são descritos por atores, que podem representar sistemas externos, entidades ou humanos que interagem com o sistema.

Por fim, cabe frisar que a organização do método em etapas visa a permitir a sua estruturação formal, mas não representa uma obrigação de que elas sejam realizadas de maneira sequencial. Isto é, o método tem caráter fortemente iterativo, em que cada etapa gera resultados que irão permitir refinar ou revisar as demais.

IV. ESTUDO DE CASO

A seguir será apresentada a aplicação de cada etapa do método proposto para a captura de requisitos do Sistema de Aeronave Remotamente Pilotada de Ataque para atender às necessidades operacionais do Exército Brasileiro no cumprimento de suas missões constitucionais.

A. Etapa 1: Identificação da Necessidade de Missão

Tendo como premissa que os *stakeholders* já foram elencados previamente, por meio de reuniões e entrevistas, foi identificada a Necessidade de Missão para o projeto ora apresentado, definida da seguinte maneira: *O Exército Brasileiro precisa de um meio aéreo de baixo custo que permita a realização de reconhecimento e ataque a alvos compensadores de diferentes naturezas em áreas nas quais não disponha de superioridade aérea*.

B. Etapa 2: Definição dos objetivos e metas do projeto

Os objetivos e metas do projeto também foram definidos em conjunto com os *stakeholders*, sendo apresentado um extrato do resultado na Tabela I. Observa-se que os objetivos elencados têm caráter dual, isto é, não se aplicam exclusivamente a situações de guerra, mas podem contribuir também com os esforços interagências (aqueles desempenhados pelo conjunto do Estado brasileiro, considerando seus diversos órgãos de fiscalização, tais como Forças Armadas, polícias e institutos) para a prevenção de crimes transfronteiriços (como tráfico e contrabando), crimes ambientais (extração ilegal de recursos naturais, queimadas e desmatamento). Isso porque requisitos relacionados a voos de longo alcance ou elevada autonomia sobre regiões como a

selva amazônica, o pantanal ou a Zona Econômica Exclusiva podem viabilizar a vigilância e monitoramento de tais áreas.

TABELA I. EXTRATO DOS OBJETIVOS E METAS DO PROJETO.

Objetivos	*Metas*
Obj 1: Realizar reconhecimento de alvos e áreas	Obj 1.1: Realizar voos com autonomia de 4 h
	Obj 1.2: Realizar voos com alcance de 120 km
	Obj 1.3: Obter dados de imagem UV e de radiação visível da área sobrevoada
	Obj 1.4: Transmitir dados a uma taxa de TBD kbps
Obj 2: Realizar ataques ar-solo (pessoal, material e instalações)	Obj 2.1: Ser capaz de perfurar mais de 150 mm de aço protegido por blindagem reativa
	Obj 2.2: Ser capaz de atuação antipessoal com raio de ação letal maior do que 30 m
	Obj 2.3: Ser capaz de causar incêndios de mais de 800 °C por ao menos 20 segundos
Obj 3: Realizar ataques ar-ar contra outras aeronaves	Obj 3.1: Ser capaz de manobrar com aceleração de 2 g
	Obj 3.2: Ser capaz de atingir alvos a velocidade de até 50 m/s
	Obj 3.3: Ser capaz de perfurar mais de 15 mm de aço
	Obj 3.4: Ser capaz de acompanhar autonomamente alvos com um cone de abertura de 30°

C. Etapa 3: Identificação das restrições e premissas

As restrições e premissas identificadas, dado o contexto orçamentário, regulatório e operacional, são apresentadas a seguir.

Restrições:

- Rest 1: O sistema deve atender à regulamentação relativa à segurança de voo (Regulamento Brasileiro de Aviação Civil e normas militares aplicáveis).
- Rest 2: O sistema deve ser capaz de se comunicar com as estações de solo e demais aeronaves em operação.
- Rest 3: O sistema deve ser transportável por tropa a pé.
- Rest 4: O sistema deve ter um custo máximo de R$ 300.000 (trezentos mil reais) por aeronave.

Premissas:

- Prem 1: Não é necessário possuir superioridade aérea para empregar o SARP.
- Prem 2: O SARP constitui uma família de sistemas (FoS), com diferentes tipos de aeronaves especializadas para cumprir diferentes tarefas no campo de batalha.

D. Etapa 4: Atribuição de responsabilidades

Apresenta-se a seguir o extrato da atribuição de responsabilidades, estabelecida para permitir o gerenciamento do projeto e alocação dos recursos humanos:

a) Financiador: Financiar o projeto

b) Departamento de *marketing*: auxiliar na captura de necessidades dos clientes e tendências de mercado.

c) Departamento financeiro: realizar as análises de orçamento e viabilidade juntamente com a engenharia.

d) Gerente de projeto: coordenar a equipe de projeto.

e) Especialista em aerodinâmica: realizar o projeto de aerodinâmica do sistema.

f) Especialista em propulsão: realizar o projeto de propulsão do sistema.

g) Especialista em estruturas: realizar o projeto estrutural do sistema.

h) Especialista em armamento aéreo: realizar o projeto de integração de armamento do sistema.

i) Engenheiro de Sistemas: realizar o balanceamento das diversas áreas do sistema, realizando o estudo de trade-off e acompanhamento técnico do desenvolvimento do projeto.

E. Etapa 5: Desenvolvimento do Conceito de Operações

Dando continuidade ao desenvolvimento conceitual do sistema, foi confeccionado um diagrama do ConOps (Conceito de Operações) do sistema para cenário nominal e um diagrama para cenário não-nominal, a título de exemplificação da aplicação do método:

a) Cenário Nominal: conforme representado na Fig. 2, neste caso estão representados dois SARPs (SARP A e SARP B) observando e realizando ataque a posições inimigas, e trafegando informações entre si. Um terceiro SARP (SARP C, que é de um outro tipo, que possui os explosivos integrados à sua estrutura e se destrói juntamente com o alvo no processo do ataque), mais à direita, realiza um circuito de voo à procura de alvos. Ao encontrar algum alvo compensador, o SARP C se lança contra o mesmo, atingindo-o e se detonando.

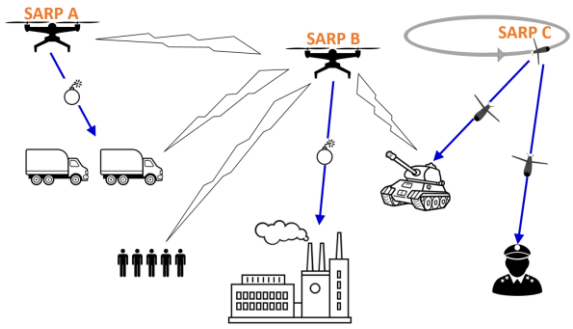

Fig. 2. Cenário Nominal (com SARPs dedicados a fazer a identificação de alvos para os demais, localizados em outros pontos da zona de combate).

b) Cenário Não-Nominal: representado na Fig. 3, em que o SARP B foi perdido, o que compromete a capacidade de ataque a algumas estruturas (no exemplo, instalações fabris que agora estão fora do alcance dos SARPs A e C) e degrada a capacidade de reconhecimento da rede de SARP (as tropas que não estão mais sendo observadas). Ainda assim, os SARP remanescentes ainda são capazes de identificar e atacar alvos.

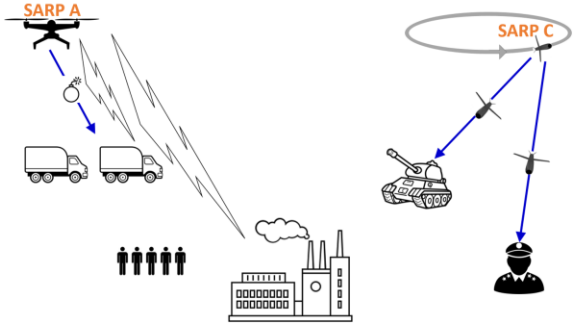

Fig. 3. Cenário Não-Nominal (o SARP B, infiltrado mais profundamente em território inimigo, foi abatido, e cada SARP deve detectar seus próprios alvos, com perda de informações sobre outros alvos).

F. Etapa 6: Confecção dos diagramas de Casos de Uso

Conforme apresentado nas Etapas 1 e 2, o Sistema de Aeronave Remotamente Pilotada deve ter capacidade de reconhecimento (incluindo monitoramento das fronteiras) e capacidade ataque, visando a monitorar o posicionamento e movimento de tropas oponentes ou elementos hostis na zona de combate, em zona de retaguarda, ou qualquer região de interesse. Em caso de não-guerra, a capacidade de monitoramento deve permitir ainda atividades adicionais, contribuindo para o esforço interagências de monitoramento das fronteiras e prevenção a ilícitos, como vigilância de fronteiras contra o tráfico, contrabando, extração ilegal de recursos e crimes ambientais, tais como queimadas. O SARP deve possuir ainda capacidade de ataque para realizar ataques de oportunidade contra alvos compensadores ou para evitar a utilização livre do espaço aéreo, causando perdas e obrigando as forças oponentes a manterem recursos de defesa antiaérea mobilizados.

Nesta etapa, para desenvolver o diagrama de Casos de Uso representado na Fig. 4, construído no *software* Capella (ArcML), as capacidades descritas no parágrafo anterior foram desdobradas em funções (e subfunções, quando apropriado).

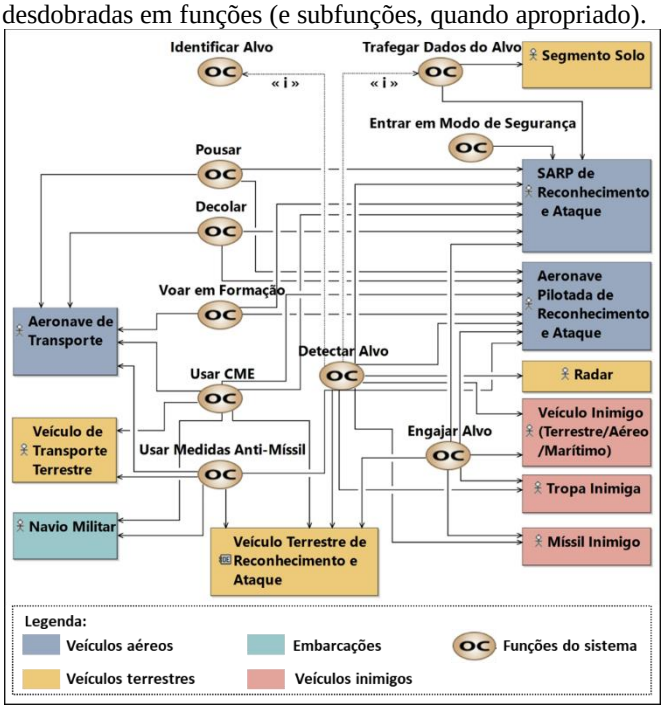

Fig.4. Diagrama de Casos de Uso para o SARP de Ataque.

Nesse modelo, o SARP apresenta as funções de decolar, aterrissar, detectar alvos, transmitir e receber dados de alvos, entrar em modo de segurança (para evitar riscos a outras aeronaves e pessoas em solo caso apresente alguma pane), usar ECM (Contramedidas Eletrônicas), voar em formação e engajar alvos.

Os demais veículos aéreos e terrestres de reconhecimento e ataque também apresentam as funções de trafegar dados de alvos e engajar alvos. Por sua vez, os veículos aéreos e terrestres de transporte não têm a capacidade de engajar alvos.

Os alvos podem ser tropas inimigas ou veículos diversos que sejam julgados alvos compensadores, isto é, que valham a pena ser atacados ou pela extensão do dano que venham a causar ao inimigo (oficiais e comandantes importantes; materiais caros, de difícil reposição, suporte logístico crítico etc.) ou pela vantagem tática a ser obtida (possibilidade de se auxiliar na captura de uma posição importante no terreno, por exemplo). Desta forma, os inimigos (tropas e veículos) se relacionam com as funções de detecção e engajamento.

Com relação à função de detecção de alvos, incluem-se as funções (ou o que se pode chamar subfunções, uma vez que são vinculadas à anterior) identificar alvos e trafegar dados de alvo.

O uso de ECM é importante para o SARP, bem como para as aeronaves de reconhecimento e ataque, para reduzir os riscos a que estão expostos a fogos do inimigo.

Contudo, dada a limitação de custo e volume para o SARP de Ataque (que obrigam a uma análise de viabilidade dos equipamentos nele embarcados), e considerando que ele apresenta menor preço de reposição e não transporta vidas humanas em seu interior, o SARP em questão não tem como função apresentar capacidade de utilizar medidas antimíssil. As aeronaves de ataque, por outro lado, por serem mais caras para se repor e por transportarem tripulação, justificam o emprego de sistemas embarcados que provenham esta capacidade.

O segmento solo, composto por radares e centros de comando, se relaciona com as funções relativas a tráfego de dados diversos.

G. Etapa 7: Captura de requisitos de sistema

Para o sistema SARP de Ataque, foram identificados requisitos de sistema (requisitos funcionais e não funcionais) para direcionar os aspectos do desenvolvimento do produto. Esses requisitos foram modelados no software Capella (ArcML). Um extrato do diagrama obtido, com quatro dos principais requisitos capturados, é apresentado na Fig. 5.

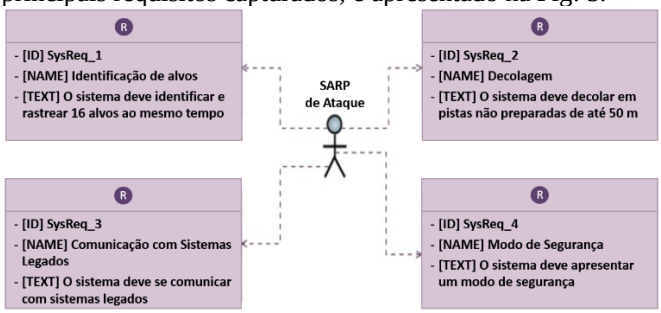

Fig. 5. Extrato do diagrama de Requisitos de Sistema.

Os principais requisitos funcionais capturados (identificar alvos e decolar em pistas não preparadas de até 50 m) são ligados ao desempenho do SARP.

A capacidade de identificação de alvos é a primeira ação que o SARP deve desempenhar para atender à necessidade de missão do sistema, tanto no que tange à capacidade de reconhecimento quanto à capacidade de ataque, em situações em que os aeródromos tenham sido atacados ou não estejam

disponíveis, ou ainda para tropas operando em áreas onde não haja infraestrutura robusta (como em diversas regiões da Amazônia e Centro-Oeste).

Por meio da identificação de alvos, o sistema pode auxiliar no monitoramento e ataque aos mesmos, guiando fogos de outros sistemas que estejam operando em conjunto (aeronaves, artilharia, tropas e outros). Em situação de não-guerra, esta mesma capacidade de identificação pode ser usada para constatar a ocorrência de ilícitos, tais como presença de aeronaves ou embarcações ilegais em território ou na Zona Econômica Exclusiva brasileira, extração ilegal de recursos, desmatamento ilegal ou queimadas.

A decolagem em pista curta é importante para permitir que o sistema seja versátil e possa efetivamente ser empregado em zona de combate.

Dentre os requisitos não-funcionais capturados, destacam-se: comunicação com sistemas legados e modo de segurança.

A comunicação com sistemas legados é um requisito de interface importante, que visa a permitir a interoperabilidade entre os sistemas, de modo que possam operar em um Teatro de Operações como um verdadeiro Sistema de Sistemas. Assim, o novo produto a ser desenvolvido irá se somar aos recursos já disponíveis e atuar de forma integrada com os mesmos, efetivamente acrescentando capacidades ao Exército Brasileiro e oferecendo novas opções de ação.

Por meio dessa compatibilidade de interface, evita-se o desperdício de recursos com a necessidade de se adquirir todo um novo ecossistema de rádios e componentes e, dependendo do caso, até mesmo certificar novamente aeronaves que já estão em operação, devido a modificações que venham a sofrer para se integrar novos sistemas de comunicação (o que é muito custoso), além de treinar os recursos humanos para operar novos sistemas de comunicação compatíveis.

Observa-se, portanto, que embora não seja ligado diretamente ao cumprimento da missão (teoricamente, qualquer sistema de comunicação poderia atender a requisitos de largura de banda e taxa de transmissão necessárias para trafegar dados de alvos), os requisitos de interface são importantes para se garantir a viabilidade dos projetos.

Outro requisito não funcional capturado é referente ao modo de segurança, no qual o SARP deve operar em caso de perda de controle do mesmo ou situação que coloque em perigo outras aeronaves ou pessoal em solo, visando a cumprir exigências de regulamentação referentes à segurança de voo e evitar eventos que podem ter repercussão negativa na opinião pública.

V. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao longo da aplicação do método proposto neste trabalho, foram identificados tanto pontos fortes quanto limitações.

O método foi efetivo para identificar e refinar os requisitos do sistema, bem como encontrar inconsistências nos mesmos e verificar as interfaces entre o SARP e sistemas legados, além da ergonomia (interação do sistema com os operadores humanos/atores) e novos requisitos operacionais.

A utilização dos modelos construídos no Capella (ArcML) contribuiu para melhorar a compreensão de todos os aspectos apresentados, além de facilitar a rastreabilidade dos requisitos e da consistência da documentação (isto é, ao se alterar determinado requisito ou função, todos os requisitos ou funções derivadas devem ser revistos).

A existência de um método estruturado para a captura de requisitos do SARP com capacidade de ataque pode também auxiliar no gerenciamento do projeto, ao balizar a documentação técnica que deverá ser entregue em cada etapa do projeto. Observou-se também que a característica iterativa do método permite uma maior interação entre os *stakeholders* e melhor utilização do tempo.

Em relação à aplicação, ressalta-se que este estudo abrangeu diversas funções previstas para o SARP, contemplando tanto aquelas relativas a ataques a alvos quanto as referentes à vigilância e monitoramento de áreas, de modo que a mesma configuração de SARP pode atender não só a cenários de guerra como também de não-guerra (como vigilância de fronteiras contra o tráfico, contrabando, extração ilegal de recursos e crimes ambientais).

VI. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou um método de Engenharia de Sistemas, com foco no processo de captura de requisitos de sistema, e foi aplicado para iniciar o estudo conceitual de um sistema capaz de prover um vetor aéreo com capacidade de ataque para o Exército Brasileiro no cumprimento de suas missões constitucionais, identificando os seus principais requisitos.

Destaca-se que a utilização de modelos trouxe benefícios para o método, ao contribuir para deixar mais intuitiva a visualização do sistema interagindo com o ambiente, usuários e elementos adversos, bem como a compreensão dos requisitos, o que permitiu um melhor entendimento do projeto por parte de todos os envolvidos.

Dado que o presente trabalho não teve a pretensão de realizar o desenvolvimento conceitual completo do SARP de Ataque, propõem-se novos trabalhos para contribuir com o projeto do sistema:

- Realização do estudo conceitual completo, apresentando alternativas de arquitetura para o SARP de Ataque, para posterior análise de suas vantagens e desvantagens, de modo a se fornecer maiores subsídios para a seleção de conceito;
- Extensão do estudo para o projeto de toda uma família de SARPs de Reconhecimento e Ataque, com diferentes arquiteturas para diferentes empregos e especificidades de missão, mas mantendo alguma comunalidade de componentes e soluções (e com análise de métricas da referida comunalidade).

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo suporte fornecido durante o desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS

[1] YASBECK, A. M. J. Aeronave Remotamente Pilotada e sua contribuição para o emprego em combate pela FAB. Rio de Janeiro: Escola Superior de Guerra, 2017.

[2] REIM, G. AH-64E teams with two UAVs to identify, attack target. Disponível em: <https://www.flightglobal.com/helicopters/ah-64e-apache-teams-with-two-uavs-to-identify-attack-target/142277.article#:~:text=AH-64E teams with two UAVs to identify%2C attack target&text=The US Army says it,unmanned air vehicles (UAVs).>. Acesso em: 15 jun. 2024.

[3] SILVEIRA, F. R. DA. Estudo comparativo da doutrina de emprego dos helicópteros de reconhecimento e ataque da Aviação do Exército do Brasil, França e Estados Unidos da América. Rio de Janeiro: Escola de Comando e Estado-Maior do Exército, 2020.

[4] LAKE, J. Attack helicopters. Military Technology, p. 14–15, 2018.

[5] SILLITTO, H. et al. Envisioning Systems Engineering as a Transdisciplinary Venture. 28th Annual INCOSE International Symposium. Anais...Washington-DC: 2018.

[6] MOREIRA, G.; CERQUEIRA, C. S.; PLEFFKEN, D. Aplicando Engenharia de Sistema Baseada em Modelos para suportar Projetos Aeroespaciais Militares no Brasil. In: SIMPÓSIO DE APLICAÇÕES OPERACIONAIS EM ÁREAS DE DEFESA, 2022, São José dos Campos. Anais [...]. São José dos Campos: Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2022. Disponível em: https://www.sige.ita.br/edicoes-anteriores/2022/st/226668_1.pdf. Acesso em: 21 jun. 2024.

[7] SILVA, R. S. C.; SANTOS, W. G.; CERQUEIRA, C. S. International and Brazilian Air Force's requirement definition processes for space systems. In: SIMPÓSIO DE APLICAÇÕES OPERACIONAIS EM ÁREAS DE DEFESA, 2021, São José dos Campos. Anais [...]. São José dos Campos: Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2021. Disponível em: https://www.sige.ita.br/edicoes-anteriores/2021/st/217722_1.pdf. Acesso em: 20 jun. 2024.

[8] JONES, G. et al. Investigation into the ratio of operating and support costs to life-cycle costs for DoD weapon systems. Defense Aquisition Research Journal, v. 21, p. 442–464, 2014.

[9] DALLOSTA, P. M.; SIMCIK, T. A. Designing for Supportability: driving reliability, availability, and maintainability in while driving costs out. Defense AT&L, p. 34–38, 2012.

[10] INCOSE. Systems engineering handbook: a guide for systems life cycle processes and activities. 4. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2015.

[11] ASD/AIA SX000I. ASD/AIA SX000i International guide for the use of the S-Series Integrated Logistics Support (ILS) specifications. 2021. Disponível em: <http://www.sx000i.org/about-sx000i/>. Acesso em: 2 jan. 2024.

[12] CASALE, D. E. Estudo conceitual de uma constelação de pequenos satélites de comunicações de banda estreita para o Exército Brasileiro. 170f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologias Espaciais) - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2019.

[13] LAHOZ, C. H. N. Notas de Aula de TE-217. São José dos Campos. Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2022.

[14] HALL, A. D. A methodology for systems engineering. Nova York: D. Van Nostrand, 1962.

[15] KOSSIAKOFF, A.; SWEET, W. N. Systems engineering principles and practice. Hoboken: Wiley, 2003.

[16] ROZENFELD, H. et al. Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para a melhoria de processos. 1. ed. São Paulo: Saraiva, 2006.

[17] BACK, N. et al. Projeto integrado de produtos: planejamento, concepção e modelagem. Barueri: Manole, 2008.

[18] LARSON, W. et al. Applied space systems engineering. Hoboken: McGraw-Hill, 2009.

[19] DOUGLASS, B. P. Agile systems engineering. Waltham: Morgan Kaufmann, 2016.

[20] CAPELLA. Eclipse Capella. [S.l.]. Eclipse Foundation, 2015. Disponível em: https://www.eclipse.org/capella/. Acesso em: 2 jun. 2023.