



CORONEL CHECHELISKI

Comandante do Centro de Instrução de Blindados General Walter Pires (CIBld).



CAPITÃO RAQUEL

Aluna de doutorado em Engenharia Elétrica, Eletrônica e de Sistemas na Loughborough University.

A DIGITALIZAÇÃO DE PLATAFORMAS MILITARES: TENDÊNCIAS E CONCEITOS OBSERVADOS NA IAVC 24

A expressão “Digitalização do Espaço de Batalha” busca caracterizar uma tendência dentro das Ciências Militares¹, na qual os avanços da computação, das comunicações e da eletrônica possibilitaram o armazenamento, a transmissão e o processamento de dados no ambiente das operações militares. Assim, o uso dos sensores digitais, da inteligência artificial, dos processadores para cálculos balísticos, dos rádios definidos por software, dos gerenciadores de campo de batalha, entre outros equipamentos e soluções, está sendo inserido nas plataformas terrestres e aumentando a rapidez do ciclo decisório. Além disso, marca um novo período da história militar no qual os meios empregados em combate, além de cumprirem sua missão primária (atirar, proteger, comunicar, etc.), são sensores que produzem dados a serem compartilhados e usados nos diversos escalões de combate, aumentando a consciência situacional.

A digitalização das Plataformas Terrestres Militares (PTM) está inserida no contexto dos combates contemporâneos. O termo plataforma terrestre refere-se ao conceito em construção relacionado às viaturas, sobre rodas ou sobre lagartas, empregadas em operações defensivas, ofensivas ou de cooperação e coordenação

com agências, oferecendo alicerce para a integração de outros sistemas de combate. Assim, cada plataforma torna-se um nó em uma extensa rede de viaturas interconectadas que compartilham dados em tempo real sobre si mesmas e sobre o inimigo. Segundo a visão de Siegel e Madni (2014), a digitalização do campo de batalha incrementaria a efetividade do poder de combate terrestre por meio da introdução da tecnologia da informação em todos os tipos de plataformas de combate.

Sob o ponto de vista da PTM, observa-se que sistemas com diferentes finalidades precisam estar integrados para que o carro de combate seja, de fato, uma plataforma multipropósito. Na concepção de Liebe (1996), o conceito de plataforma refere-se a uma estrutura para produtos distintos e aplicações diversas (apud Moore; Louviere; Verma, 1999). De modo similar, Ericsson & Erixon (1999) ressaltaram que o termo diz respeito a uma base comum da qual variantes podem ser desenvolvidas (apud Kristjansson; Jensen; Hildre, 2004). Evidencia-se, neste ponto, a importância de que todos os sistemas da plataforma possam ser integrados, a fim de que a capacidade do todo seja maior que a soma das capacidades das partes. Contudo, isso não se consubstancia em algo fácil nem comum.

Interesses comerciais, segredos industriais e a própria natureza do setor de defesa impõem obstáculos ao compartilhamento de dados e informações e à integração dos sistemas. Desse modo, a adoção de uma abordagem de arquitetura aberta de sistemas, incluindo a definição de padrões que facilitem a integração dos sistemas da plataforma, aflora como questão chave para viabilizar a digitalização do campo de batalha, uma vez que, particularmente para o Brasil, as aquisições internacionais nem sempre seguem a mesma origem de fornecimento.

Nesse contexto, a Conferência Internacional de Viaturas Blindadas (*International Armoured Vehicle Conference 2024 - IAVC 24*, tradução nossa), uma das maiores e mais influentes conferências de veículos de combate do mundo, realizada em janeiro na cidade de Londres, ofereceu a oportunidade para que a indústria de defesa e as comitivas de diferentes exércitos se reunissem, compartilhando pontos de vista sobre o campo de batalha contemporâneo e para a exposição das tendências tecnológicas para a digitalização das plataformas terrestres.

Portanto, este artigo tem por finalidade apresentar os principais conceitos e tecnologias

1. A relevância desse conceito é evidenciada na listagem como uma Capacidade Operativa (CO19) em apoio à Capacidade Militar Terrestre Comando e Controle (BRASIL, 2015).

observados nesta conferência a fim de manter a prospecção do estado da arte, bem como discutir as oportunidades de aproveitamento no contexto do EB.

PRINCIPAIS TECNOLOGIAS E CONCEITOS OBSERVADOS

Esta seção apresentará os principais temas e tecnologias discutidas durante a conferência, em diversos estágios de prontidão tecnológica, contextualizando o conceito e importância da digitalização da plataforma terrestre com capacidades associadas.²

a) Tecnologias:

- **Sistemas de proteção ativa** (*Active Protection Systems* (APS), tradução nossa) com medidas do tipo *soft-kill* e *hard-kill*. O primeiro age por meio do ocultamento da plataforma com o uso de fumígenos, por exemplo, ou causando interrupção nos sensores de orientação do agente. O segundo age por meio da destruição cinética do agente penetrador, tais como os sistemas *Trophy* (RAFAEL, 2024) e *Iron Fist* (ELBIT SYSTEMS, 2024), que já estão em emprego operacional. Em ambos os casos, destaca-se o potencial da fusão de dados dos diversos sensores para detectar a aproximação da ameaça e a atuação precisa das malhas de controle para rápida resposta. Destaca-se que quando integrados aos demais sistemas da viatura, os dados relativos à orientação da ameaça neutralizada também podem ser repassados via sistema de comando e controle para outras plataformas.

- **Sistemas de auxílio à direção**, utilizam óculos de realidade virtual e aumentada para indicar as trilhas de direção, a proximidade de obstáculos laterais e reduzir pontos cegos. O sistema requer a instalação de câmeras de amplo ângulo de visada, em pontos críticos do veículo. Destaca-se que não se trata ainda de visão 360°, já que mostra apenas os ângulos de visada relevantes para o motorista. A visão 360° para esse usuário, ainda é um desafio tecnológico, por exigir um tempo de latência inferior a 100ms³. Esta tecnologia encontra-se compatível, em nível tecnológico, apenas para o comandante da viatura, para fins de consciência situacional local, e ainda assim, está nas fases iniciais de prontidão tecnológica.

- **Sistemas robóticos e autônomos, e parceria homem-máquina** (*human-machine teaming*, tradução nossa). Em paralelo ao

desenvolvimento dessas tecnologias, muitas discussões têm ocorrido para compreender como esses sistemas podem ser utilizados para aumentar a efetividade das operações e reduzir a taxa de letalidade. Como exemplo, cita-se o uso no deslocamento de produtos (logística), em situações de reconhecimento, detecção e remoção de minas e para adentrar regiões afetadas por agentes Químicos, Biológicos, Radiológicos ou Nucleares (QBRN), entre outros. Nesse contexto, destaca-se a importância de visualizar o Sistema Robótico e Autônomo (SRA) como uma capacidade e para tal traçar uma estratégia para o desenvolvimento de múltiplos aspectos além das plataformas que afetam a sua implantação, tais como habilidade digital, governança e gerenciamento para a exploração de dados, considerações éticas e legais, além de outras (BRITISH ARMY, s.d.).

b) Conceitos:

- **Mudança de paradigma: do “Triângulo de Ferro” para o “Hexágono de Aço”**. Os requisitos da era anterior para plataformas terrestres focavam nas capacidades de mobilidade, proteção e poder de fogo. Atualmente, com a era da informação influenciando cada vez mais o campo de batalha, fala-se em mobilidade, sobrevivência (mais amplo que proteção), letalidade (em vez de poder de fogo), autonomia, adaptabilidade e conectividade.

- **Conceito de Campo de Batalha Transparente**. Encontrar maneiras de permanecer imperceptível no campo de batalha está se tornando uma tarefa cada vez mais desafiadora. Isso é impulsionado pela ampla utilização de sensores que abrangem desde a detecção visual (câmeras, radares e imagens satelitais) até a detecção sonora, térmica e/ou eletromagnética (rádios). O uso da inteligência artificial e da fusão de dados têm um papel crucial na agilidade do processamento para a identificação do alvo e no rápido compartilhamento dessas informações para as demais plataformas, pelos meios de comunicação táticos ou híbridos (civis e militares).

- **Conceito de Eletrificação do Campo de Batalha**. Eletrificação significa tecnologia que utiliza eletricidade como fonte de energia, reduzindo a necessidade de combustíveis fósseis. Em vez de usar fonte de combustível não renovável, a eletrificação coloca o foco no

2. Figuras relativas às tecnologias não foram inseridas no texto para evitar a violação dos direitos autorais das empresas. Em vez disso, são fornecidas referências contendo informações sobre os sistemas. Outrossim, os produtos são citados apenas como exemplos, sem julgamento da capacidade tecnológica.

3. Latência é o tempo que leva para uma ação gerar uma resposta. No caso de visão 360 graus, isso pode ser o tempo entre um movimento da cabeça do usuário, ou o movimento conforme a dinâmica do terreno, e a atualização da imagem que ele vê, o que pode gerar uma sensação de mal-estar (*motion sickness*).

armazenamento de energia elétrica por meio de baterias. No contexto de veículos, as baterias podem ser carregadas de várias maneiras e podem ser usadas em conjunto (híbridos) ou substituir motores de combustão interna. O futuro campo de batalha terá menos – ou certamente menores – motores a diesel, com geradores sustentáveis, como energia eólica ou solar, todos funcionando como um sistema ao lado de baterias.

Segundo a abordagem do Exército Britânico sobre a eletrificação do campo de batalha, novos sensores, sistemas de proteção ativa, de comunicação e de informação exigiriam demandas crescentes de energia. Satisfazer esta necessidade e, ao mesmo tempo, reduzir a dependência geral do diesel e superar as restrições orçamentárias, ou a ineficiência dos geradores a diesel em funcionamento, poderia ser alcançado através da eletrificação. Ainda de acordo com os britânicos, as tecnologias de armazenamento de energia em baterias abrem a possibilidade da energia ser partilhada entre sistemas, plataformas (tripuladas e não tripuladas) e pessoas, permitindo vantagem tática, autossuficiência e interoperabilidade no compartilhamento de energia.

Ademais, há a perspectiva de que a performance melhora uma vez que a eletrificação permite um funcionamento silencioso dos motores, bem como possibilita a observação silenciosa do campo de batalha. Para a PTM, isso reduziria o ruído e a assinatura térmica, aumentando assim a proteção e a capacidade de sobrevivência.

No entanto, ainda há bastantes desafios a serem superados nessa tecnologia. Entre as dificuldades, a autonomia desses sistemas também é bastante reduzida (até em veículos comerciais), é difícil encontrar baterias compatíveis com o ambiente hostil do campo de batalha, e o recarregamento é demorado e demanda uma infraestrutura. O Reino Unido tem buscado adiantar-se no estudo de padronização das interfaces e formas de suprimento de energia entre o veículo, o soldado desembarcado, e a base, desde os conectores aos conversores de voltagem. A ideia é que o soldado possa recarregar os seus sistemas no veículo, em vez de carregar uma bateria, reduzindo o peso, e o veículo receber a carga nas infraestruturas de base.

- **Conceito de Letalidade Coletiva.** As plataformas militares atuais (veículos, drones, soldados, dentre outras) carregam sistemas eletrônicos que as tornam importantes

sensores e atuadores dentro do campo de batalha, que se faz cada vez mais colaborativo. O sistema de sistemas da letalidade coletiva é o conceito de como múltiplas plataformas podem compartilhar informações e decidir qual a plataforma tem maior chance de executar o alvo com mais efetividade.

Um exemplo desse conceito apresentado na conferência mostrou como os drones podem auxiliar no mapeamento 3D da região, que pode ser agregado aos mapas 2D dos gerenciadores de campo de batalha e às informações de geoposicionamento das plataformas, aumentando a consciência situacional. Algoritmos seriam utilizados para identificar alvos e decidir qual plataforma estaria mais próxima e capacitada a eliminar os alvos.

Esse conceito vai exigir uma arquitetura que otimize o compartilhamento de dados a fim de garantir agilidade, segurança e controle a tempo de realizar a execução do alvo, bem como o uso da inteligência artificial nesse processo.

Também é importante destacar que esse conceito traz a ideia de capacidades distribuídas. Ou seja, não é necessário, nem desejável – devido a restrições de espaço, peso e energia – que todas as plataformas sejam equipadas com as tecnologias de ponta. É a combinação sistêmica destas que gera as capacidades do todo, de forma distribuída.

- **Conceitos de *digitization* e *digitalization*.** Apesar de as palavras no idioma inglês serem bastante semelhantes, os conceitos são complementares. O primeiro é a digitalização, ou seja, a obtenção de dados por meio de sensores, como vem sendo discutido neste artigo. O segundo é sobre transformação digital, ou seja, a transformação necessária em nível organizacional a fim de converter esses dados em capacidades. Trata-se da visão de explorar os dados como recursos estratégicos, seja para coleta, exploração e/ou automatização, em diversos níveis, das plataformas militares até as bases de comando. A finalidade é dar mais suporte às decisões por meio de acesso a dados e processamento preciso, permitindo maior eficácia nas respostas a oportunidades e ameaças. Isso precisa ser feito por meio de coordenação e investimento nas áreas de pessoal, processos e tecnologias. Exemplos são os documentos Estratégia Digital para Defesa (*Digital Strategy for Defence*, tradução nossa) (BRITISH ARMY, s.d.), do Exército do Reino Unido,⁴ e Estratégia de Transformação Digital do Exército (*Army Digital Transformation*

4. O Reino Unido possui uma diretoria no Ministério de Defesa (MoD) chamado Defesa Digital (Defence Digital), como parte do Comando Estratégico (Strategic Command), que tem por finalidade coordenar as ações para preparar o MoD para a Guerra da Era da Informação. Essa diretoria foi a responsável pela elaboração do documento em questão.

Strategy, tradução nossa) (OFFICE OF THE ARMY CHIEF INFORMATION OFFICER, 2021), do Exército dos Estados Unidos da América (EEUA).

A digitalização é um meio para a transformação digital. Neste contexto, ao considerarmos as plataformas terrestres militares inseridas nesse processo, observa-se que as viaturas deverão atender às necessidades do ambiente digital incorporando sensores de última geração para a consciência situacional, conectividade de rede para comunicações, manutenção da consciência logística etc. Essas práticas induziram uma abordagem de integração digital para as viaturas e seus sensores, meios de comunicação e sistemas de proteção ativa, de modo a permitir o estabelecimento de um ambiente de informação único.

Para as Forças Armadas alemãs, a integração digital de suas viaturas blindadas deveria adotar os seguintes requisitos:

- conjuntos e configurações de equipamentos padronizados;

- funcionalidades de software idênticas;
- recursos escaláveis e modulares;
- instalação, integração e infraestrutura padronizadas; e
- redes redundantes, escaláveis e robustas (DEFENCE IQ, 2020).

Muitos desses requisitos fazem parte da abordagem de arquitetura⁵ aberta, conforme apresentado a seguir.

A ABORDAGEM DE ARQUITETURA ABERTA DE SISTEMAS⁶

Um dos assuntos discutidos em diversas ocasiões, não apenas na IAVC, mas em outras conferências, foi a dificuldade de integração de sistemas para viabilizar a digitalização da plataforma e o papel da padronização da arquitetura da infraestrutura de dados para modificar ou obter novas capacidades ao longo do ciclo de vida do Sistema e Material de Emprego Militar (SMEM).

Para buscar um melhor entendimento do assunto, a **Figura 1** mostra uma tipagem de níveis de integração.

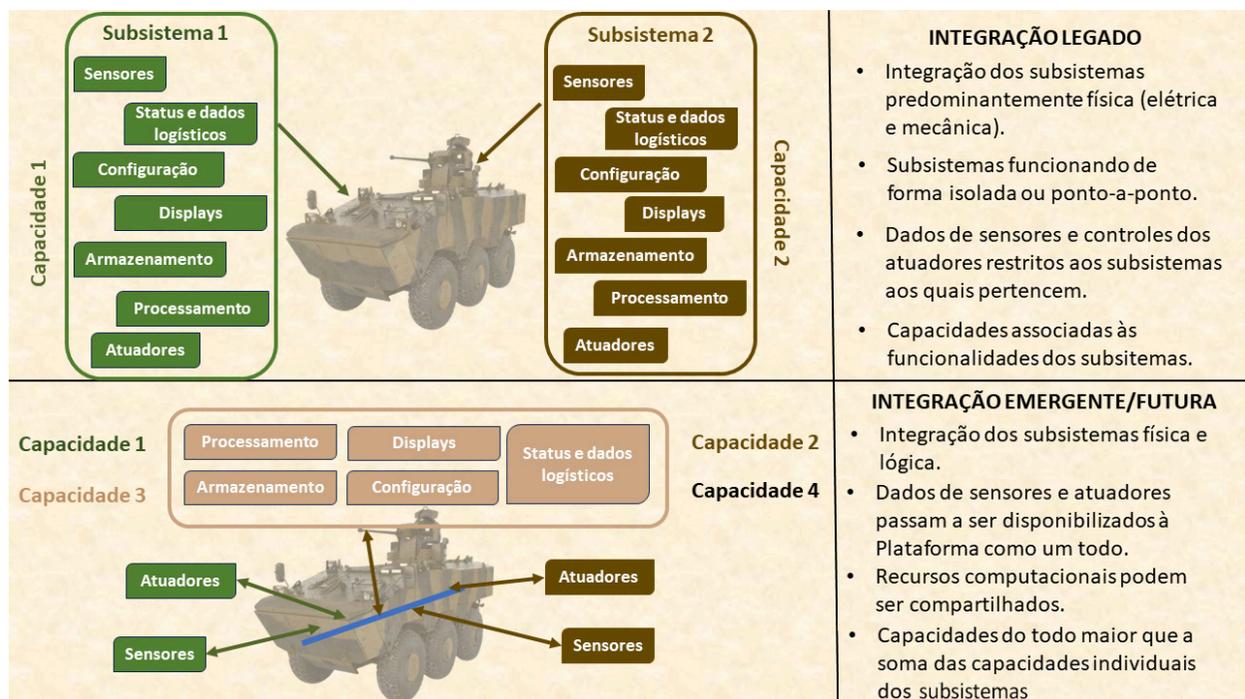


Fig 1 – Níveis de integração de sistemas

Fonte: Elaborado pelos autores, baseado em conteúdos das apresentações da conferência.

5. Arquitetura de Sistema é definido como "Identificação e arranjo das estruturas físicas e lógicas de um sistema, abrangendo componentes de software, propriedades externamente visíveis destes componentes e as relações entre eles." (Ministério da Defesa, 2015).

6. Os termos "Arquitetura Aberta", e "Abordagem de Arquitetura Aberta" são frequentemente utilizados de forma intercambiável em sistemas militares, sendo mais comum em aplicações envolvendo a área de tecnologia de informação. Apesar de não haver uma definição estabelecida por organizações de padronização como a ISO/IEEE, algumas referências como a DAU (s.d.) descrevem como "Uma arquitetura técnica que adota padrões abertos, apoiando uma estrutura de sistema modular, fracamente acoplada e altamente coesa, que inclui a publicação das principais interfaces dentro do sistema." Henshaw et al (2011) acrescenta que o termo se aplica a sistemas cuja arquitetura é publicada para uma comunidade de interesse em nível de detalhamento suficiente para permitir modificações e evolução do sistema por qualquer fornecedor. Destaca-se que não é necessário divulgar a arquitetura completa, e sim as principais interfaces, garantindo a propriedade intelectual e segredo industrial dos fornecedores.

O primeiro estágio é o do tipo “legado”, em que cada subsistema funciona de maneira isolada ou possui conexão de dados limitada a finalidades específicas e as capacidades da plataforma são definidas apenas pelos subsistemas. Neste nível, normalmente há uma grande dependência das empresas fornecedoras dos subsistemas, sendo estas as únicas opções para implementar novas capacidades.

O segundo estágio é classificado como “emergente”, no qual os sensores e atuadores da plataforma passam a compartilhar dados e recursos por meio de um barramento comum, buscando uma visão mais holística

(a capacidade do todo sendo maior que a soma das partes). Neste estágio, a inserção de novas capacidades já é facilitada, pois as regras de comunicação são compartilhadas, evitando a dependência de fornecedores específicos. É nessa fase que se encontram nações como: EUA, Austrália e Reino Unido. Um exemplo desse tipo de arquitetura é mostrado, de forma simplificada, na **Figura 2**. O próximo estágio, ainda em desenvolvimento, introduz o conceito de “software como serviço”, em que aplicações e atualizações podem ser buscadas de forma remota com a devida segurança.

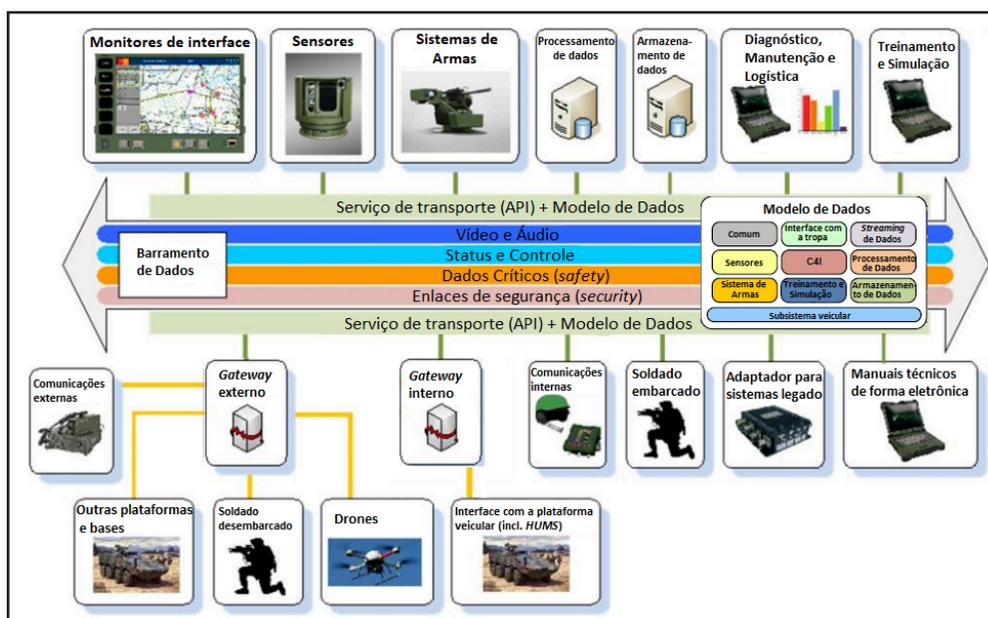


Fig 2 – Representação da arquitetura de veículos militares, segundo estudo LAVOSAR II

Fonte: European Defense Agency (2015, tradução nossa).

As abordagens de arquitetura aberta viabilizam a evolução do primeiro estágio de integração para os demais. Consistem em definir padrões de interface que regulam a troca de dados entre os subsistemas constituintes da plataforma. É fundamental que esses padrões sejam “abertos”, ao contrário de padrões proprietários definidos pelas empresas. Ou seja, devem ser baseados em regras claramente documentadas e disponíveis às partes interessadas, de forma que outras empresas (ou organizações) possam ter acesso aos dados e interfaces de outros subsistemas para criar novas soluções complementares. Ressalta-se que essas recomendações são apenas para as interfaces. Ou seja, não determinam como o subsistema deve ser desenvolvido, e sim o que é esperado dele em termos de funcionalidade e dados que devem ser compartilhados

com os demais subsistemas. Dessa forma, a propriedade intelectual do subsistema fica preservada.

Um exemplo do que é normalmente definido nessas abordagens é o modelo de dados,⁷ tal como o determinado na Arquitetura Genérica de Veículos da Organização do Tratado do Atlântico Norte (OTAN) - (NATO *Generic Vehicle Architecture* – NGVA, tradução nossa) (**Figura 3**). Esses módulos descrevem dados necessários de/para sensores, atuadores, interfaces com operadores e funcionalidades específicas (incluindo dados logísticos e de manutenção), que possam ser relevantes para outros subsistemas da PTM (OTA, 2019). Esses módulos passam a viabilizar capacidades que antes eram restritas aos subsistemas ou que dependiam dos respectivos fornecedores. Alguns exemplos são listados a seguir:

7. Modelagem de Dados é o processo de definição e análise dos diversos tipos de dados que precisam ser coletados, armazenados e processados pelos diversos elementos do sistema em diferentes contextos. No caso de PTM, trata-se da definição sistemática dos dados trocados entre diversos componentes do veículo visando capacidades e funcionalidades distintas (MICROSOFT, s.d.; OTA, 2019).



Fig 3 – Módulos do Modelo de Dados do NGVA
 Fonte: Adaptado de OTA (2019, Fig.2.3, tradução nossa).

- Compartilhamento das zonas de tiro por parte dos atuadores, bem como das ameaças detectadas pelos sensores, que podem ser compartilhadas com outros escalões via sistema de comando e controle, evitando fratricídio.

- O computador tático do comandante da PTM pode acessar os vídeos das câmeras da plataforma (incluindo a do atirador) e os alarmes dos diversos subsistemas (incluindo os dos sensores acústicos e laser), aumentando a consciência situacional.

- Os dados logísticos podem auxiliar no *status* de manutenção e serem utilizados para fins de manutenção preditiva. Além disso, juntamente com as informações de monitoramento de uso, esses dados podem ser aplicados em estudos com inteligência artificial e aprendizado de máquina para a automatização de processos da plataforma. Isso pode auxiliar no processo de tomada de decisão e na redução da carga cognitiva dos operadores.

Portanto, como principais benefícios almejados por essas abordagens de arquitetura aberta, tanto para o governo quanto para a indústria, destacam-se (RADOMAN, 2023):

a) Comercial:

- Maior competitividade, já que a disponibilidade dos dados de interface permite que soluções adicionais possam ser fornecidas por terceiros. Isso estimula maior qualidade

nos serviços e redução de custos (possibilidade de negociar) nas diversas etapas do ciclo de vida do SMEM.

- As empresas passam a ter oportunidade de competir em outros momentos do ciclo de vida, não apenas no desenvolvimento da plataforma.

- Os fornecedores conseguem focar mais na capacidade em si, já que a integração com o sistema fica facilitada.

- Empresas menores, como *startups*, passam a ter oportunidades de contribuir com capacidades periféricas, o que estimula a inovação.

- Aumentar as oportunidades de exportação buscando alinhamento com abordagens utilizadas pelos países que dominam o mercado militar.

b) Técnico-operacional:

- Maior facilidade e agilidade na inserção e modificação dos sistemas e suas capacidades, o que também contribui para a adaptabilidade do sistema.

- Facilita a interoperabilidade por meio da padronização das interfaces.

- Evita a proliferação de equipamentos cujas funcionalidades podem ser fornecidas de modo centralizado. Por exemplo, um monitor único para o comandante com acesso a informações de todos os subsistemas, em vez de múltiplos monitores. Como consequência, redução de custo (aquisição e manutenção), de

carga cognitiva e de treinamento (operação e manutenção).

- Facilita o gerenciamento da obsolescência.
- Possibilidade de comunalidade de componentes entre plataformas, mesmo que de fornecedores distintos, por meio da padronização da arquitetura, o que facilita a logística.

Apesar dessas aspirações, a abordagem também enfrenta desafios técnicos e comerciais. O tempo de amadurecimento para atingir uma arquitetura consagrada, como é o caso do padrão Arquitetura Genérica de Veículos (*Generic Vehicle Architecture (GVA)*, tradução nossa) é um dos maiores desafios para a adoção e implementação dessas iniciativas. A definição desse padrão do Reino Unido, como é conhecido hoje, iniciou em torno de 2007, (a primeira versão foi disponibilizada em 2010). Desde então, diversas atualizações, especialmente no Modelo de Dados, têm sido implementadas (atualmente, está na nona versão), o que demonstra a atenção necessária com a manutenção e evolução do padrão. Por esse motivo, é mais viável seguir algum padrão aberto já existente, como o GVA, fazendo adaptações que possam vir a ser necessárias.

Outros desafios incluem a necessidade de definir as fronteiras da propriedade intelectual dos sistemas, resistência por parte de fornecedores atuais, bem como buscar balancear o uso de padrões abertos com outros requisitos não funcionais tais como segurança e performance. Nesse quesito, cabe ressaltar que o uso de arquiteturas abertas poderia representar uma vulnerabilidade, já que abriria a possibilidade de potenciais inimigos entenderem o funcionamento do sistema, facilitando ações com intenções maliciosas. Para gerenciar este risco, dados mais críticos (relativos à segurança ou a informações classificadas) normalmente ficam fora do escopo da arquitetura aberta, trafegando por um barramento separado ou permanecendo isolados, com medidas adicionais de defesa cibernética. Um exemplo disso é o controle de sistemas críticos da plataforma (como motor, direção, entre outros) ou o disparo dos sistemas de armas. Ainda assim, as arquiteturas apresentadas têm buscado inserir meios adicionais de segurança nas próximas atualizações. Ademais, esse é um dos motivos de a maior parte dos padrões de arquitetura aberta, apesar do nome “aberto”, permanecem restritos a certos grupos de interesse e de confiança dos governos que adotam a abordagem (nações amigas, por exemplo) e sob certas restrições de uso e de exportação.

É importante destacar que essas abordagens de arquitetura aberta não são unicamente técnicas. É preciso um diálogo com a indústria na definição desses padrões, de forma que sejam alcançados benefícios em ambos os lados, além de garantir uma confiança mútua. Um exemplo dessa é a Abordagem de Sistemas Abertos e Modulares (*Modular Open System Approach (MOSA)*, tradução nossa) do Departamento de Defesa dos Estados Unidos. Trata-se de um conjunto de políticas e recomendações (mandatórias) para a implementação de arquiteturas abertas e modulares em todos os programas de defesa (OUSD(R&E), s.d.). De maneira semelhante, mas nesse caso específico para os sistemas terrestres, o Reino Unido possui a Arquitetura Aberta de Sistemas Terrestres (*Land Open System Architecture (LOSA)*, tradução nossa). Essa iniciativa conecta as arquiteturas voltadas para sistemas veiculares (GVA), sistemas do soldado digital e infraestrutura nas bases de apoio, por meio da definição do modelo de dados, no caso denominada Modelo de Dados de Sistemas Terrestres (*Land Data Model (LDM)*, tradução nossa) (WHITE, 2014).

O LDM tem, em sua metodologia, estruturas que permitem a customização e adaptação. Por esse motivo, a Austrália e a OTAN têm adotado a mesma metodologia para customizar as suas necessidades. Uma abordagem semelhante poderia ser seguida pelo Exército Brasileiro (EB). Os Estados Unidos apresentaram recentemente uma iniciativa semelhante, a Arquitetura de Infraestrutura Comum Terrestre (*Ground Common Infrastructure Architecture (GCIA)*, tradução nossa), porém, até o momento, é restrita para empresas que fornecem sistemas ao país.

Um fator significativo para a adoção dessa abordagem é o nível de maturidade em relação ao conceito de arquitetura de sistemas militares na parte de dados, já que a implementação desses padrões demanda o preparo/programação das interfaces dos subsistemas, o que é normalmente feito por meio das empresas integradoras. Exemplo dessa maturidade é a adoção de arquiteturas empresariais como a Estrutura de Arquitetura da OTAN (*NATO Architecture Framework -NAF*, tradução nossa) (NATO, 2020) e a Estrutura de Arquitetura do Departamento de Defesa (*Department of Defense Architecture Framework - DODAF*, tradução nossa) (DEPARTMENT OF DEFENSE, s.d.). Esses governos já entendem a importância de se ter o conhecimento do

comportamento e da estrutura do fluxo de dados, e investem em infraestrutura/capacitação de pessoal para fornecer suporte nessa área, seja na parte de desenvolvimento ou até mesmo na contratação dos serviços e gerenciamento técnico de contrato com a integradora. É importante destacar que esse acompanhamento/manutenção tem que ser ao longo do ciclo de vida, já que o próprio padrão passa por modificações. Ou seja, não havendo a manutenção dessas interfaces, a facilidade de inserção de tecnologias fica prejudicada.

OPORTUNIDADES DE APROVEITAMENTO NO CONTEXTO DO EB

A IAVC 24 abriu espaço para a discussão de soluções, apresentação de produtos e de tendências para o desenvolvimento e para a modernização das PTM. A participação da comitiva brasileira no evento viabiliza, entre outras coisas, o acesso a inovações tecnológicas, a comparação de capacidades entre exércitos, à formação de redes de contato (*networking*) e estabelecimento de parcerias.

Ressalta-se que a aplicabilidade das tecnologias discutidas nesta Conferência deve ser tratada sob múltiplas perspectivas, incluindo a relevância operacional e contextual, a urgência de implementação, as políticas nacionais e internacionais, e a disponibilidade de recursos. Por exemplo, os sistemas APS tiveram um grande avanço por conta dos conflitos recentes na Ucrânia e no Oriente Médio. Os veículos híbridos e elétricos têm avançado no Reino Unido devido ao compromisso político do país em atingir *Net-Zero*⁸ até 2050 (DEPARTMENT FOR ENERGY SECURITY & NET-ZERO, 2023).

Parte das tecnologias aqui apresentadas não se aplicam à realidade do EB, ao menos até o presente momento. O Brasil possui um território de proporções continentais, diferentes climas e terrenos com características topográficas distintas. Em razão disso, os sistemas desenvolvidos para plataformas terrestres em países membros da OTAN atendem a requisitos operacionais demandados pela política de defesa e das características do terreno e do inimigo particulares daquele contexto estratégico. Ao incorporar-se uma viatura blindada ao inventário do EB, por aquisição junto a um membro da OTAN, assume-se que alguns sistemas deverão ser modificados ou substituídos devido à complexidade de ambientes como o da Amazônia. Nesse sentido, a priorização de plataformas que utilizem

arquitetura aberta permitiria a integração de diferentes sistemas e tecnologias de forma flexível, facilitando a adaptação a cenários diversos. Isso permitiria, por exemplo, a integração de sensores específicos para florestas tropicais ou de drones adaptados para operações em áreas alagadas às plataformas existentes de forma mais facilitada. Dessa forma, ressalta-se a estreita relação da abordagem com os desejáveis elementos de emprego da força terrestre FAMES(I) - flexibilidade, adaptabilidade, modularidade, elasticidade e sustentabilidade e interoperabilidade (BRASIL, 2019).

Ainda que as tecnologias demonstradas não tenham um efeito imediato no contexto do EB, os conceitos destacaram situações e empregos que podem ser investigados. O exemplo da letalidade coletiva reforça o foco em capacidade, em vez de na plataforma. Isso visa otimizar os meios e recursos de forma a produzir uma capacidade holística sem a necessidade de equipar todas as plataformas com os recursos tecnológicos mais avançados. O EB já vem aplicando esse pensamento em certa medida, ao decidir, por exemplo, por sistemas de armas distintos utilizando uma plataforma base. Esse enfoque em capacidade também evita que a solução fique restrita a subsistemas específicos, como apresentado na **Figura 1**, o que pode gerar dependência de empresas e componentes.

A filosofia da arquitetura aberta dá suporte ao processo supracitado. Para tal, faz-se necessário elevar a maturidade do EB na área de arquitetura de sistemas, especialmente na parte de fluxo dos dados táticos em: como integrar os diversos níveis, o que precisa ser comunicado, entre outros. O desenvolvimento do padrão GVA só foi possível com essa maturidade, tanto dentro do governo quanto nas empresas fornecedoras dos sistemas. Isso significa ter a capacidade de identificar, definir e descrever a estrutura e o comportamento dos diversos componentes do sistema (seja ao nível de plataforma, veículos blindados, ou sistema-de-sistema, como em sistemas de comando e controle), pensando no papel de cada um nos fluxos de matéria, energia e informação (MEI), mantendo a rastreabilidade com os requisitos e capacidades operacionais desejadas. Lembrando que essas arquiteturas são melhor entendidas quando organizadas em camadas, e inseridas no contexto organizacional e multi-disciplinar, conforme apontado no NAF e DODAF. Por conseguinte, não é um empreendimento apenas técnico.

8. *Net-Zero* refere-se ao equilíbrio entre a produção e a captura de gases de efeito estufa (UNIVERSITY OF OXFORD, s.d.).

Nesse contexto, é crucial entender a importância da função de integração dos sistemas dentro da plataforma, responsável por viabilizar a troca de MEI pelos subsistemas, seguindo a arquitetura definida. No caso dos veículos blindados do EB, a integração ocorre nos níveis de matéria (mecânica, estabilidade, dinâmica) e energia (elétrica, térmica, cinética), mas ainda está progredindo no que se refere à informação e dados, ou seja, evoluindo do estado legado para uma integração emergente. Portanto, é essencial que os estudos nessa área continuem avançando e que haja um diálogo constante com os fornecedores para monitorar os estágios de implementação da arquitetura. Essa implementação pode ser feita de modo gradual, utilizando uma plataforma específica como estudo de caso. Para isso, é necessário definir claramente o escopo e identificar o responsável pela função de integrador dos sistemas nessas plataformas.

É recomendado que se utilize o padrão GVA como base, devido à sua maturidade, ampla adoção e por ser acessível para nações amigas do Reino Unido, com permissão de acesso determinado pelo Ministério da Defesa do país em questão. No entanto, caso o Brasil opte por fornecedores de países considerados como ameaça à OTAN, será necessário definir outros procedimentos para a integração desses sistemas. Algumas soluções possíveis incluem:

1) Implementar uma arquitetura de segurança modular, na qual os sistemas de diferentes origens são isolados por camadas de segurança, incluindo *firewalls*, criptografia e outros mecanismos que limitem o acesso entre sistemas. Nesse cenário, as informações sensíveis seriam protegidas. No entanto, esses sistemas operariam de forma isolada, no nível legado abordado na **Figura 1**.

2) Investir em pesquisa e desenvolvimento local para reduzir a dependência de sistemas estrangeiros, incluindo a criação de centros de excelência em cibersegurança e integração de sistemas, além de parcerias com universidades e institutos de pesquisa. Essa seria uma solução mais eficaz, porém com resultados a médio-longo prazo.

3) Adotar uma política de fornecedores que minimize os riscos geopolíticos, diversificando as fontes de tecnologia e criando parcerias estratégicas que equilibrem as relações internacionais do Brasil, incluindo acordos para garantir o suporte contínuo e a atualização dos sistemas adquiridos.

4) Realizar testes e auditorias independentes de todos os sistemas integrados, especialmente daqueles provenientes de países que não são aliados tradicionais, a fim de identificar e mitigar

potenciais vulnerabilidades antes que elas sejam exploradas. Essa prática revela a necessidade da maturidade de requisitos e procedimentos na área de cibersegurança em PTM.

Outrossim, a fim de fundamentar a implementação da arquitetura aberta, destaca-se a importância de adotar-se uma política de abordagens abertas, semelhante ao MOSA e LOSA. Foi apenas a partir dessas políticas que a indústria percebeu o comprometimento do governo com essas abordagens, tanto nos Estados Unidos quanto no Reino Unido. Além disso, a aprovação de políticas como essas estabelece objetivos de longo prazo focados na sustentabilidade e na evolução contínua das capacidades operacionais, minimizando os riscos decorrentes de aquisições de oportunidade.

Por fim, o conceito de arquitetura aberta de sistemas poderia contribuir para a interoperabilidade e a cooperação internacional, garantindo que os novos sistemas sejam interoperáveis com aqueles utilizados pelos parceiros estratégicos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As plataformas militares e, particularmente, os Carros de Combate constituem a espinha dorsal dos exércitos. Para alguns autores, a viatura blindada de combate é a plataforma terrestre com maior aporte tecnológico e que estrutura ao seu redor uma cadeia produtiva e industrial associada (IPEA, 2016). Sendo assim, a importância estratégica e econômica dessas plataformas realça a necessidade de constante inovação e de adaptação tecnológica.

Em razão disso, a participação de militares brasileiros, de diversas especialidades, em atividades como a IAVC é relevante para manter o entendimento de conceitos e tecnologias emergentes por diferentes perspectivas (técnica, operacional e estratégica, por exemplo). Nesse contexto, foi discutida e observada a importância da digitalização de PTM para manutenção da capacidade de dissuasão e para inserir o EB no contexto da era da informação bem como para atingir os elementos de FAMES(I) dessas plataformas.

Não obstante algumas tecnologias apresentadas na conferência não terem emprego imediato ou não se aplicarem ao contexto do EB, foi possível observar a necessidade de amadurecimento dos conceitos apresentados dentro do EB ao menos com uma visão de médio a longo prazo, de emprego aos

desafios futuros.

Em última análise, a digitalização da PTM, aliada à adoção de arquitetura aberta de sistemas, representaria uma transformação profunda na condução das operações militares. A arquitetura aberta de sistemas não apenas facilitaria a integração de tecnologias emergentes, mas também promoveria a interoperabilidade essencial para operações conjuntas e multinacionais. Para o EB, a adoção de tal abordagem significaria mais do que acompanhar as tendências tecnológicas; seria

uma mudança de paradigma que priorizaria a flexibilidade, a colaboração e a eficiência operacional, garantindo uma força mais ágil, adaptável e preparada para lidar com as complexidades da guerra moderna. Esse caminho, embora repleto de desafios, oferece a recompensa de um exército não apenas tecnologicamente avançado, mas também resiliente e inovador, capaz de se adaptar rapidamente às mudanças e de operar de maneira integrada com aliados em um cenário global dinâmico.

REFERÊNCIAS

- BRASIL. Estado Maior do Exército. **Catálogo de Capacidades do Exército**. Brasília, DF, 2015.
- BRASIL. Estado Maior do Exército. **Manual de Fundamentos - Doutrina Militar Terrestre**. Brasília, DF, 2019.
- BRITISH ARMY. **British Army approach to Robotic and Autonomous Systems**. Disponível em: <https://www.army.mod.uk/media/15790/20220126_army-approach-to-ras_final.pdf>. Acesso em: 02 jun. 2024.
- BRITISH ARMY. **The Army Digital & Data Plan 2023 - 2025. A guide to help you deliver the Army's Digital Transformation**. Disponível em: <https://www.army.mod.uk/media/21608/2_295200-mod_addp_review-file_05.pdf>. Acesso EM: 03 jun. 2024.
- DEFENSE ACQUISITION UNIVERSITY (DAU). (n.d.). **Defense Acquisition Glossary**. Disponível em: <<https://www.dau.edu/glossary/Pages/Glossary.aspx>>. Acesso em: 05 maio. 2023.
- DEFENCE IQ. **Manoeuvre in the Digital World: the impact of digitization on the armoured fleet**. London, 2020.
- DEPARTMENT FOR ENERGY SECURITY & NET-ZERO. Net Zero Government Initiative: UK Roadmap to Net Zero Government Emissions. Dezembro de 2023. Disponível em: <<https://www.gov.uk/government/publications/net-zero-government-emissions-uk-roadmap>>. Acesso em: 05 jun. 2024.
- DEPARTMENT OF DEFENSE. **The DoDAF Architecture Framework**. Versão 2.02. Disponível em: <https://dodcio.defense.gov/Portals/0/Documents/DODAF/DoDAF_v2-02_web.pdf>
- ELBIT SYSTEMS. **Iron Fist Series of Active Protection Systems**. Disponível em: <<https://elbitsystems.com/media/Catalog-Active-Protection-Systems-5-Web.pdf>>. Acesso em: 31 maio 2024.
- EUROPEAN DEFENCE AGENCY. **LAVOSAR II - European Reference Open Architecture Standard for a Modern Integrated Electronic Mission System in Military Land Vehicles**. 13 Maio 2015. Disponível em: <<https://eda.europa.eu/docs/default-source/documents/lavosar-ii-information-paper.pdf>>. Acesso em: 04 jun. 2024.
- HENSHAW, Michael. et al (2011). **Assessment of open architectures within defence procurement issue 1: systems of systems approach community forum working group 1 - open systems and architectures**. (Version 1). Loughborough University.
- KRISTJANSSON, A. H.; JENSEN, T.; HILDRE, H. P. **The Term Platform in the Context of a Product Developing Company**. In: International Design Conference - Design 2004, 2004, Dubrovnik. Anais [...]. Dubrovnik p. 1–6.
- IPEA. **Mapeamento da Base Industrial de Defesa: Plataforma Terrestre Militar**. Brasília, 2016, p. 335-398.
- MICROSOFT. **O que é modelagem de dados?**. Disponível em: <<https://powerbi.microsoft.com/pt-br/what-is-data-modeling/>>. Acesso em: 10 jun. 2024.
- MINISTÉRIO DA DEFESA. **Glossário das Forças Armadas**. 5a Edição. Brasília, DF, 2015.
- MOORE, William L.; LOUVIERE, Jordan J.; VERMA, Rohit. **Using Conjoint Analysis to Help Design Product Platforms**. Journal of Product Innovation Management, [S. l.], v. 16, n. 1, p. 27–39, 1999.
- NATO. **NATO Architecture Framework**. Versão 4. 2020. Disponível em: <https://www.nato.int/cps/en/natohq/topics_157575.htm>. Acesso em: 06 jun. 2024.
- OFFICE OF THE ARMY CHIEF INFORMATION OFFICER. **Army Digital Transformation Strategy**. 12 Oct 2021. Disponível em: <<https://api.army.mil/e2/c/downloads/2021/10/20/3b64248b/army-digital-transformation-strategy.pdf>>. Acesso em: 03 jun. 2024.
- OFFICE OF THE UNDER SECRETARY OF DEFENSE, RESEARCH AND ENGINEERING (OUSDR(R&E)). **Modular Open Systems Approach**. Disponível em: <<https://www.cto.mil/sea/mosa/>>. Acesso em: 04 jun. 2024.
- OTA, Daniel. **Early De-Risking of Land Vehicles Open System Architecture Implementations**.

Tese de doutorado, The University of Brighton, 2019. Disponível em: <https://cris.brighton.ac.uk/ws/portalfiles/portal/6442639/20190411_Final_Thesis_Daniel_Ota.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2024.

RADOMAN, Raquel; HENSHAW, Michael, RABBETS, Tim. **Open Architecture - Realistic Aspiration or Pipedream?**. Annual Systems Engineering Conference, November 2023, Liverpool.

SIEGEL, Neil G.; Madni, Azad M. **The Digital Battlefield: a behind-the-scenes look from a systems perspective**. Procedia Computer Science 28. Los Angeles: Elsevier B. V., 2014. p. 799 – 808.

RAFAEL. **Trophy APS**. Disponível em: <<https://www.rafael.co.il/blog/trophy-aps/>>. Acesso em: 31 maio 2024.

UNIVERSITY OF OXFORD. **What is net-zero?** Disponível em: <<https://netzeroclimate.org/what-is-net-zero-2/>>. Acesso em: 05 jun. 2024.

WHITE, Antony. **The UK'S Approach to Open Systems Architecture for the Land Domain**. 2014 Ground Vehicle Systems Engineering and Technology Symposium (GVSETS).

SOBRE OS AUTORES

O Coronel de Cavalaria ALEXANDRE **CHECHELISKI** é o Comandante do Centro de Instrução de Blindados General Walter Pires. Foi declarado aspirante a oficial pela Academia Militar das Agulhas Negras (AMAN) em 2000. cursou a Escola de Aperfeiçoamento de Oficiais em 2008. No biênio 2017-2018, frequentou o Curso de Comando e Estado-Maior da Escola de Comando e Estado-Maior do Exército (ECEME). Especializou-se como Oficial de Cavalaria Blindada, na Escuela de Caballería Blindada - Chile, em 2011. Em 2012, especializou-se na Operação da VBC CC Leopard 1 A5 BR, pelo CI Bld. Comandou o 6º Esquadrão de Cavalaria Mecanizado durante o biênio 2014-2015. Foi instrutor da AMAN no período de 2004 a 2007. Foi instrutor da ECEME e Coordenador de Pesquisa e Pós-Graduação e Chefe do Departamento de Pesquisa e Pós-Graduação do Instituto Meira Mattos (IMM)/ECEME 2019-2020. Foi Assessor Militar junto à Academia Militar dos Estados Unidos da América em West Point em 2021. (checheliski.alexandre@eb.mil.br).

A Capitã do Quadro de Engenheiros Militares **RAQUEL LAMPAÇA VIEIRA RADOMAN** é doutoranda em Engenharia Elétrica, Eletrônica e de Sistemas na Loughborough University, Reino Unido. Formou-se no Instituto Militar de Engenharia (IME) em 2013, em Engenharia Eletrônica, e é Mestre em Engenharia Eletrônica Automotiva pela Universidade de Brighton, Reino Unido (2016). Possui experiência na área de sistemas eletrônicos de veículos militares, tendo atuado na Diretoria de Fabricação (DF) em diversos projetos e trabalhos correlatos no contexto do Programa Estratégico do Exército Forças Blindadas. (raquel.radoman@eb.mil.br).