

Sistemas de Navegação por Satélite e a Guerra do Futuro: uma abordagem prospectiva

Satellite Navigation Systems and the War of the Future: a prospective approach

Fernanda das Graças Corrêa*

RESUMO

A Globalização tem tornado os exércitos e as sociedades mais interdependentes das tecnologias e dos sistemas de navegação por satélite, sobretudo do Sistema de Posição Global (GPS). Neste estudo, serão descritos os sistemas de navegação por satélite globais e regionais e analisada a relação entre esses sistemas de navegação com a área de Comunicação Militar e Guerra Eletrônica numa abordagem prospectiva. Este ensaio científico se divide em cinco partes: (1) contextualização dos principais sistemas de navegação por satélite; (2) alternativas tecnológicas de Posicionamento, Navegação e Tempo (PNT) ao GPS; (3) análise de ciclo de vida útil do GPS; (4) substituição tecnológica do GPS pelo Exército dos Estados Unidos da América (EUA) e (5) considerações sobre redução da dependência tecnológica do GPS nos planos estratégicos do Exército Brasileiro do futuro.

Palavras-chave: Sistemas de Navegação por Satélite, Comunicação Militar e Guerra Eletrônica, Exército dos EUA

ABSTRACT

Globalization has made Armies and societies more interdependent on satellite navigation technologies and systems, especially GPS. In this study, global and regional satellite navigation systems will be described and the relationship between these navigation systems with the area of Military Communication and Electronic War will be analyzed in a prospective approach. This second scientific essay is divided into five stages: (1) contextualization of the main satellite navigation systems, (2) technological alternatives PNT to GPS, (3) life cycle analysis of GPS, (4) technological substitution of GPS by the US Army and (5) considerations on reducing the technological dependence of GPS in the strategic plans of the Brazilian Army of the Future.

Keyword: Satellite Navigation Systems, Military Communication and Electronic Warfare, US Army

* Pós-doutoranda em Modelagem em Sistemas Complexos pela USP, Pós-doutora em Ciências Militares pela ECEME, doutora em Ciência Política na área de concentração em Estudos Estratégicos pela UFF, pesquisadora da linha Prospecção de tecnologias emergentes e disruptivas: abordagens teóricas, metodológicas e práticas do Grupo de Estudos em Tecnologias de Defesa e a Evolução do Pensamento Estratégico (GETED) da UNESP e pesquisadora na linha Prospectiva Tecnológica e Emprego Militar no biênio 2020/2021 do Centro de Estudos Estratégicos do Exército (CEEEx).

Sumário Executivo

Este é o segundo ensaio da linha de pesquisa Prospectiva Tecnológica e Emprego Militar publicado pelo Núcleo de Estudos Prospectivos (NEP) do CEEEx para o biênio 2020/2021. Neste texto, o objetivo é mapear inovações disruptivas com potencial dissuasório na guerra do futuro, destacando considerações e recomendações que impactem os planos estratégicos de longo prazo do Exército Brasileiro (EB).

Diferente do Exército dos EUA, o EB não tem políticas para adquirir/desenvolver seu próprio sistema de navegação por satélite. No entanto, tem estruturas de Ciência, Tecnologia & Inovação com capacidade de desenvolver a médio e longo prazo sistemas e tecnologias alternativas de PNT com a finalidade de reduzir a dependência de sistemas de navegação por satélite estrangeiros, como o GPS estadunidense e o *Glonass* russo, em ambientes de *Multi-Domain Operations* (MDO, sigla em inglês) na guerra do futuro.

Além de sistemas de aprimoramento do GPS, diversas são as tecnologias em estudo de viabilidade que podem se configurar como alternativas PNT em ambientes operacionais de GPS negado ou degradado, tais como sistemas de balizas, marcas ativas ou passivas, *laser*, *Terrain Contour Matching* (TERCOM), modernas plataformas inerciais com sensores de pressão, relógios atômicos embutidos em *chips* e odômetros digitais integrados em sensores de movimento de veículos militares. Apesar de constatar que nenhuma destas seja capaz de substituir o GPS nos teatros de operações militares no curto e médio prazo, é imprescindível que os exércitos que ainda não sejam capazes de desenvolver seus próprios sistemas de navegação prospectem tecnologias alternativas PNT em ambientes MDO de GPS negado ou degradado na guerra do futuro.

Além de criar grupo multifuncional para projetar, desenvolver e testar novas tecnologias alternativas ao GPS em parceria com empresas privadas estadunidenses, o recém criado Comando do Exército do Futuro dos EUA, por exemplo, tem implantado medidas e contramedidas de segurança, testado novos sistemas e novas tecnologias PNT em diversas unidades de veículos blindados e treinado soldados testando estas novas tecnologias em diferentes estágios de amadurecimento em ambientes operacionais simulados de GPS negado e degradado.

São apresentados também estudos prospectivos patrocinados pelo Exército dos EUA sobre inovações disruptivas com capacidade de, no longo prazo, substituir o GPS na guerra do futuro, como os pseudólitos e os satélites *Low Earth Orbit* (LEO), em especial, os *Starlink* da empresa privada *SpaceX*. Estas tecnologias se encontram no início da fase de introdução mercadológica de seu ciclo de vida e, portanto, requerem análises prospectivas mais aprofundadas que incluam dados, como estimativa da taxa de retorno esperada e investimento de capital requerido pela introdução da tecnologia no mercado, vendas previstas, custos estimados de produção, efeitos dessa nova tecnologia sobre os custos e vendas da linha de produtos tecnológicos já existentes na empresa, estabelecimento de uma política empresarial de preços e estimativa dos riscos substanciais envolvidos em tal empreendimento. Ferramentas, como análise de ciclo de vida e de substituição tecnológica, são imprescindíveis neste estudo prospectivo.

Neste estudo, são feitas considerações e recomendações relevantes para que o EB explore o universo de ferramentas e técnicas de prospecção com a finalidade de adquirir/desenvolver sistemas e tecnologias alternativas geoespaciais mais precisas, mais baratas, mais eficientes e mais seguras. Assim, pode ser possível reduzir, a médio e longo prazo, a dependência tecnológica da Força Terrestre de sistemas de navegação estrangeiros e aumentaras suas capacidades de controle/comando, flexibilidade e mobilidade estratégica em Operações de Amplo Espectro na guerra do futuro.

1. Introdução

A Prospecção Tecnológica (PT) designa atividades de prospecção centradas nas mudanças tecnológicas e nas mudanças na capacidade funcional ou no tempo e significado de uma inovação visando à incorporação de informações ao processo da gestão tecnológica na tentativa de prever possíveis estados futuros da tecnologia ou condições que afetam sua contribuição para as metas estabelecidas (AMPARO, RIBEIRO, GUARIEIRO, 2012). Os principais objetivos da PT são a tomada de decisão, a definição de prioridades e a capacidade de reação e antecipação. Dentro de uma concepção teórica “neoschumpeteriana”, na qual a inovação tecnológica se dá por meio de um processo complexo e multifatorial, partimos da hipótese de que há vários futuros hipotéticos possíveis a serem considerados. Conforme constatado no primeiro ensaio científico, intitulado *Prospecção Tecnológica em Defesa e o Futuro da Guerra* publicado em edição anterior desta Revista, a

prospecção tecnológica em setores governamentais, centros e laboratórios de pesquisas e empresas também pode oferecer novos produtos, implantar novos métodos e processos de produção, apontar tecnologias emergentes e *gaps* existentes em programas e projetos tecnológicos, implementar novas culturas organizacionais, obter novas fontes de matéria-prima e/ou recursos estratégicos (pessoas, materiais e tecnologias), explorar novos mercados, criar novas estruturas de mercado em uma indústria e auxiliam na priorização dos investimentos em Pesquisa & Desenvolvimento (P&D) e no aumento de lucros empresariais. (CORRÊA, 2020, p.45)

A história da humanidade está intimamente relacionada com a sua capacidade de se projetar nos espaços, explorando e ampliando novas fronteiras em terra, no mar e no ar e, mais recentemente, no espaço e no *cyber* espaço. Dessa íntima relação, o homem foi criando ao longo de sua história cada vez mais técnicas e tecnologias modernas, dominando a arte de precisão espacial no ambiente em que busca se projetar. Daí o surgimento da bússola, do astrolábio, da cartografia náutica, de radares, de telescópios e de sistemas satelitais.

Ao longo dos anos, sobretudo, devido à Globalização, à interdependência e à conectividade, sistemas satelitais e tecnologias alternativas de posicionamento geoespacial, de definição de rotas e monitoramento do curso de veículos em terra, mar e ar se popularizaram e se tornaram imprescindíveis para o desenvolvimento estrutural das sociedades modernas seja na oferta de localização e horário, seja na oferta de banda larga de *Internet* cada vez mais precisas, baratas, eficientes e seguras. A atividade de monitoramento do curso de veículos em terra, mar e ar, por exemplo, “*pode fornecer subsídios à alteração de rotas provocadas por circunstâncias que não foram previstas no planejamento*” (HASEGAWA, GALO, MONICO, IMAI, 2000, p.1). Em aplicações militares, os exércitos usam o GPS em operações que vão desde missões de busca e resgate a lançamentos de mísseis,

reconhecimento e sistemas de orientação não tripulados.

Os Sistemas de Navegação por Satélite (SAT-NAVs) fornecem a receptores móveis suas posições fazendo uso de variadas técnicas de posicionamento geoespacial na superfície terrestre, por meio do uso de satélites artificiais na camada da Ionosfera em variadas condições naturais, tais como atmosféricas, climáticas e/ou de terreno e condições artificiais, tais como interferências eletromagnéticas. Dentre os SAT-NAVs mais popularizados, encontra-se o Sistema de Posicionamento Global (GPS, sigla em inglês) administrado pelo governo dos EUA. A princípio, o GPS foi desenvolvido exclusivamente para emprego militar. O GPS é um sistema liderado pela Força Aérea dos EUA que disponibiliza dados geoespaciais, como os de PNT, para organizações civis e militares. SAT-NAVs com capacidade de oferecer posicionamento geoespacial em qualquer ponto da superfície terrestre são classificados sob a nomenclatura de Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS, sigla em inglês). Entre os sistemas que podem ser enquadrados como GNSS, o GPS é o mais utilizado pelos exércitos no mundo. Daí a necessidade cada vez maior dos exércitos de buscar o desenvolvimento de alternativas que reduzam a dependência deste sistema ou a substituição tecnológica dele.

Este estudo não se limitará apenas a descrever os SAT-NAVs globais e regionais, mas objetiva analisar, numa abordagem

prospectiva, a relação entre esses sistemas de navegação com a área de Comunicação Militar e Guerra Eletrônica. Neste sentido, este estudo se divide em cinco etapas: (1) contextualização dos principais sistemas de navegação por satélite; (2) alternativas tecnológicas ao GPS; (3) análise de ciclo de vida útil do GPS; (4) substituição tecnológica do GPS pelo Exército dos EUA e (5) consideração para a redução da dependência tecnológica do GPS no planejamento de longo prazo do Exército Brasileiro do Futuro.

2. Sistemas de Navegação por Satélite

Dentre os SAT-NAVs mais conhecidos, encontram-se o GPS estadunidense. Essa tecnologia se tornou imprescindível para as atividades militares e civis, tais como a navegação aérea, terrestre e marítima, a geoinformação, a agricultura, o controle do tráfego de veículos, entre outras.

Os avanços em Eletrônica ao longo da Guerra Fria foram decisivos para o desenvolvimento de tecnologias de Comunicação Militar, em especial, as com ênfase em ondas de rádio, como o *Long-Range Navigation System* (LORAN, sigla em inglês), o *Low Frequency Continuous Wave Phase Comparison Navigation* (DECCA, sigla em inglês) e o *Global Low Frequency Navigation System* (ÔMEGA, sigla em inglês). Em 1958, a *Defense Advanced Research Projects Agency* (DARPA, sigla em inglês) e o Laboratório de Física Aplicada Johns Hopkins com patrocínio da Marinha

estadunidense iniciaram o desenvolvimento do *Navy Navigation Satellite System* (TRANSIT, sigla em inglês), primeiro SAT-NAV do País. O TRANSIT transmitia sinais contínuos enviados de forma regular à memória de cada satélite, a partir do Observatório Naval dos EUA, retransmitidos fornecendo horário com precisão em qualquer localização da Terra. O TRANSIT se tornou obsoleto logo que o conjunto de satélites GPS, construído pela empresa Rockwell, foi lançado entre os anos de 1978 e 1985. O GPS é resultado da fusão de dois programas financiados pelo governo norte-americano, respectivamente, sob a responsabilidade da Marinha e da Força Aérea, para desenvolver um sistema de navegação de abrangência global: TIMATION¹ e SYSTEM 621B². O GPS oferece dois tipos de serviços: (1) Serviço de Posicionamento Preciso e (2) Serviço de Posicionamento Padrão. O primeiro oferece serviços exclusivos para finalidades militares- nível com melhor performance disponível exclusivamente para emprego militar. Pelo fato de o Serviço de Posicionamento Preciso operar em modo chaveado, os receptores GPS baseados em Módulo *Anti-spoofing* de Disponibilidade

¹ TIMATION foram satélites projetados, desenvolvidos e lançados na década de 1960 pelo Laboratório de Pesquisa Naval dos EUA para transmitir dados de precisão de tempo para receptores no solo.

² SYSTEM 621B foram satélites projetados, desenvolvidos e lançados também na década de 1960 pela Força Aérea dos EUA que utilizava o princípio do tempo de propagação das ondas eletromagnéticas entre o transmissor (satélite) e o receptor (usuário) para precisar posicionamento do usuário.

Seletiva (SAASM, sigla em inglês) oferecem melhor performance em precisão posicional aprimorada e proteção de sinal que o Serviço de Posicionamento Padrão, disponibilizado às organizações civis. Segundo informações do Exército dos EUA,

os dois receptores GPS de maior densidade no Exército hoje são o Receptor GPS Avançado de Defesa (DAGR) e o Módulo de Aplicações do Receptor GPS Baseado no Solo (GBGRAM). Aproximadamente 331.000 DAGR foram colocados em campo em 2012 para uso desmontado e instalações de plataforma. Mais de 125.000 GBGRAM foram adquiridos até o momento por meio de um contrato do Exército ainda ativo para equipar uma ampla gama de sistemas de armas. Além disso, o Dispositivo Distribuído DAGR (D3) fornecerá uma capacidade PNT distribuída para plataformas selecionadas no FY16.³

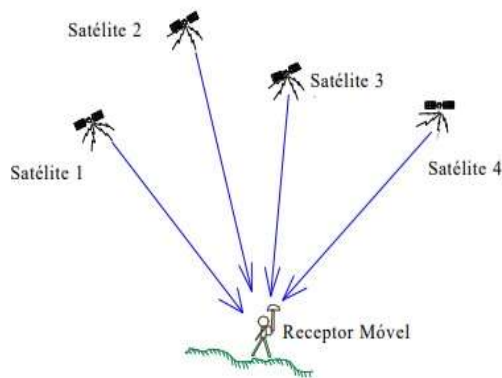
O GPS opera em três segmentos: um segmento espacial, composto por 24 satélites; um segmento de controle de solo; e um segmento de equipamento de usuário, que consiste em receptores configurados para aplicações manuais, terrestres, de aeronaves e embarcações.

O GPS tem permitido grandes variedades de aplicações civis e militares (muito utilizado na guerra do Golfo – 1991, por exemplo). Seu grande potencial na viabilização de aplicações que envolvam o posicionamento rápido e acurado vem sendo explorado nas mais diversas áreas do conhecimento. O sistema é composto por uma constelação de 24 satélites distribuídos em seis planos orbitais

³Para acessar esta matéria na página oficial do Exército dos EUA, clique aqui: <https://asc.army.mil/web/portfolio-item/navstar-global-positioning-system-gps/>

localizados aproximadamente a 20.000 km de altitude. Os sinais enviados pelos satélites GPS são capturados na superfície terrestre por equipamentos apropriados (receptores GPS), permitindo a determinação da posição 3D; solução que só é possível se pelo menos quatro satélites forem sintonizados simultaneamente pelo receptor (Figura 1). (HASEGAWA, GALO, MONICO, IMAI, 2000, p.3)

Figura 1: Posicionamento absoluto (por ponto)



Fonte: (HASEGAWA, GALO, MONICO, IMAI, 2000, p.3)

Os receptores GPS captam os sinais de quatro satélites para determinar o tempo e as suas próprias coordenadas. Pseudodistância é o nome atribuído à distância entre o tempo de viagem do centro de fase de antena do satélite quando a emissão ocorre e o centro de fase do receptor GPS no momento que ele recebe a transmissão.

Os sinais transmitidos pelos satélites são extremamente fracos, sendo designados por ruído pseudoaleatório (*pseudo-randomnoise*), já que se confundem com o ruído atmosférico de fundo. Esses sinais chegam à superfície da Terra com uma potência de 5×10^{-17} W, que é um valor incrivelmente baixo (bilhões de vezes mais fraco que os sinais de televisão). (MONTEIRO, 2007)

O GPS é uma inovação disruptiva que revolucionou a arte da guerra a partir de seu emprego pelos EUA em teatros de operações militares na 1ª Guerra do Golfo (1991). Com

ele, foi possível realizar ataques cirúrgicos de protótipos de bombas e mísseis *Tomahawk* guiados em alvos predefinidos que reduziram de forma significativa o número de baixas civis e o número de vítimas de fogo amigo. A maior parte das munições na Guerra do Golfo ainda era guiada por *laser* e a maior parte dos mísseis empregou sistemas de *Terrain Contour Matching* (TERCOM, sigla em inglês). O guiamento de munições por *laser* se tornou bem sucedido em operações no deserto. No entanto, o TERCOM se revelou pouco preciso e de uso complexo à medida que dificulta a tarefa dos decisores militares na predefinição e seleção de novos alvos, obrigando-os a programar os contornos do terreno numa nova base de dados. (MONTEIRO, 2007)

O emprego gradativo do GPS nas sucessivas guerras em que os exércitos dos EUA e da Organização do Tratado do Atlântico Norte (OTAN) participaram no final do século XX e início do século XXI- 1ª Guerra do Golfo em 1991, na Guerra da Bósnia em 1995, na Guerra do Kosovo em 1999, na Guerra ao Terror a partir de 2001, sobretudo, no Afeganistão e no Iraque, e na Coalização Internacional Militar na Síria em 2017- se tornou constante e irrevogável.

Importante ressaltar que os exércitos empregam, nos teatros de operações de guerra, o GPS de forma integrada a outros recursos humanos, materiais e tecnológicos e há limitações técnicas. Além disso, apesar do notório sucesso da adoção do GPS nessas

guerras, nos últimos anos, condições naturais, como o terreno circundante, e tecnologias de Guerra Eletrônica, como as de interferência eletromagnética do inimigo, têm contribuído com processos de obstrução abrupta dos sinais recebidos pelo GPS.

O guiamento por GPS obedece a outras premissas, pois implica que o alvo esteja parado e que se saiba a sua posição exata, o que pode ser conseguido retirando essas coordenadas de um mapa, fotografia aérea ou imagem por satélite, ou então através de seres humanos no terreno, que reportem a posição dos alvos. No entanto, os erros também podem acontecer. Por exemplo, quando, a 7 de maio de 1999, uma munição guiada por GPS destruiu a Embaixada da China em Belgrado (naquele que foi talvez o mais divulgado revés do guiamento por GPS) as coordenadas do alvo tinham sido retiradas de um mapa. Só que esse mapa datava de 1992, estando o edifício em causa identificado como um Quartel-General Sérvio, e a Embaixada da China mudara as suas instalações para o edifício atingido apenas em 1996 ... Na altura, um alto funcionário dos serviços secretos norte-americanos comentou: “*It was the right address applied to the wrong building*”. O problema não terá residido, portanto, em falha no guiamento, antes num erro na identificação do alvo. As armas guiadas por GPS dirigem-se a pontos de coordenadas precisas, sem terem, obviamente, capacidade para avaliar o que é que estão a destruir: a “missão” do GPS é levá-las a acertar num ponto preciso. No entanto, o ser humano continuará sempre a cometer erros e a tomar decisões erradas, sobretudo quando sob a enorme pressão do combate. (MONTEIRO, 2007)

Além do GPS, existem outros SAT-NAVs, como o russo *Glonass*, o europeu Galileo, o chinês *Compass*, o japonês *QZSS* e o indiano *IRNSS*.

O *Glonass* foi inicialmente desenvolvido pelo extinto governo soviético em meados da década de 1970. Também estruturado em três segmentos, o segmento espacial é composto pela constelação de satélites distribuída em média órbita terrestre. O primeiro satélite foi lançado em órbita em 1982, cuja constelação é baseada em uma escala atômica cujo horário padrão é o da cidade de Moscou. O segmento de controle é diretamente subordinado à Força Espacial Russa.

Os rastreadores *Glonass* possuem a capacidade de gravar dados do sistema GPS e realizar medições próprias. O desempenho e precisão em tempo real tornam-se significativamente melhores quando há o controle de ambos os tipos de satélites. Adicionando-se o *Glonass* ao GPS, melhoram-se todos os aspectos da navegação e do posicionamento em tempo real, tais como disponibilidade do sinal de mais satélites, confiabilidade das observações, estabilidade da distribuição geométrica dos satélites e tempo de inicialização dos rastreadores. (BRASIL, 2014, p.24)

Diferente do GPS e do *Glonass*, o Galileo é o sistema de navegação por satélite da União Europeia que foi originalmente concebido para aplicações civis. O primeiro satélite deste sistema, o *GIOVE-A*, cujo projeto era de responsabilidade da Comissão Europeia e da Agência Espacial Europeia, foi lançado em órbita em dezembro de 2005 e os primeiros sinais foram transmitidos pelo Galileo em janeiro de 2006.

Além de tornar os países da União Europeia menos dependentes da rede americana, o projeto Galileo deve ajudar

a corrigir alguns problemas técnicos do atual GPS, como a interferência na transmissão dos dados e a interrupção de sinais já registrada em aviões. Como o Galileo está sendo projetado para trabalhar também em conjunto com GPS, a confiabilidade e a precisão dos dados globais serão bem maiores, já que a cobertura saltará de 24 satélites para cerca de 60. O Galileo também deve ajudar a União Europeia a abocanhar parte do mercado de fabricantes de aparelhos de GPS – que movimenta, hoje, nos Estados Unidos, cerca de 8,5 bilhões de dólares. (SUPER INTERESSANTE, 2002)

O *Compass*, também conhecido como *Beidou-2*, é o sistema de satélites de navegação constituído por uma constelação de 35 satélites, dos quais trinta estão localizados em órbita média e os outros cinco restantes serão geoestacionários. O Sistema Experimental de Navegação por Satélite *Beidou (Beidou-1)* teve início no ano 2000. A segunda geração, o *Beidou-2*, começou a operar em dezembro de 2011 com apenas 10 satélites e desde então presta serviços de navegação à China e aos seus parceiros. O lançamento do *Beidou-3*, o último deste projeto, foi colocado em órbita em junho de 2020, a partir do Centro de Lançamento de Satélites Xichang, localizado no sudoeste da China.

O Japão é outro país que também está buscando reduzir sua dependência do GPS, desenvolvendo seu próprio sistema de posicionamento e navegação, e expandir a prestação de serviços geoespaciais, sobretudo, posicionamento, navegação e banda larga de *Internet* para outros países da região Ásia-Pacífico. Autoridades e especialistas

japonesas alegam que interferências não intencionais na emissão de sinais do GPS, sobretudo devido aos arranha-céus e às áreas montanhosas, têm prejudicado a geolocalização, em especial, no segmento de transporte autônomo rodoviário. Em setembro de 2010, a Agência de Exploração Aeroespacial do Japão (JAXA, sigla em inglês), autorizou um foguete H-IIA lançar do centro espacial de Tanegashima o Michibiki, primeiro satélite do QZSS, de fabricação da *Mitsubishi Electric Corp 6503.T* para prestação exclusiva de serviços geoespaciais de PNT. O *Quasi-Zenith Satellite System (QZSS, sigla em inglês)* foi projetado para aumentar a emissão de sinais de SAT-NAVs, como o GPS e o Galileo, não para substituí-los.

Em julho de 2013, a Organização Indiana de Pesquisa Espacial (ISRO, sigla em inglês) lançou em órbita o primeiro satélite do Sistema Indiano de Navegação por Satélite (IRNSS, sigla em inglês) para prestar serviços de precisão de posicionamento e horário em tempo real que se estende do território nacional até 1.500 km ao seu redor com planos de extensão regional. A constelação do IRNSS está totalmente em órbita desde abril de 2018 e durante a 102ª sessão do Comitê de Segurança Marítima (MSC, sigla em inglês) da Organização Marítima Internacional (IMO, sigla em inglês), realizada virtualmente entre os dias 4 e 11 de novembro de 2020, aprovou o IRNSS como Sistema Mundial de Navegação de Rádio (WWRNS, sigla em

inglês). Semelhante ao GPS e ao *Glonass*, o IRNSS é habilitado para prestar serviços de aplicações civis e militares. Dentre estes serviços de aplicações duais, encontram-se: navegação terrestre, aérea e marítima; gestão de desastres; rastreamento de veículos e gerenciamento de frota; integração com smartphones; tempo preciso; mapeamento e captura de dados geodésicos; apoio à navegação terrestre para caminhantes e viajantes; e navegação visual e por voz para motoristas.

3. Alternativas tecnológicas ao GPS

O GPS sofre constantes atualizações de sistemas para torná-lo menos vulnerável a interferências naturais e artificiais. Em junho de 2020, o Departamento de Defesa dos EUA (DoD) concedeu um contrato de 1,7 milhão de dólares à empresa *Orolia Defense & Security* para vários sistemas simuladores de GPS avançados *BroadSim* para instalações, recursos e testes de campo. Estes novos sistemas permitirão testes de receptores GPS militares amplamente implantados, que são integrados a sistemas PNT no ar e no solo.

Em ataques cirúrgicos com alvos predefinidos nos teatros de operações de guerras, o GPS opera de forma integrada com outras tecnologias. Além de *laser* e TERCOM, existem outros sistemas de guiamento que transmitem informações de localização e/ou horário que, historicamente, são empregados de forma integrada com o GPS pelos exércitos nos teatros de operações.

Exemplos são os sistemas de balizas e marcas ativas ou passivas.

(...) para obter uma precisão aceitável, técnicas diferenciais capazes de reduzir o erro de posição de 5 a 0,1 metros devem ser utilizadas. Obviamente, quanto maior a precisão necessária, maior será o custo do sistema, chegando a vários milhões quando a precisão de alguns centímetros é necessária. Não só o custo associado a um receptor GPS pode ser um problema em alguns casos, mas também o problema da localização contínua do veículo. Assim, para obter uma posição precisa é necessário receber sinais de um grande número de satélites e em alguns casos isso é impossível devido à presença de obstáculos (árvores, montanhas, edifícios e terrenos acidentados) que os protegem. Durante o tempo em que essas circunstâncias são mantidas, a localização do veículo móvel é desconhecida. (POZO-RUZ et al, 2000, p.p.1-2)

A complexidade dos ambientes operacionais na guerra do futuro tem exigido dos Exércitos SAT-NAV etecnologias alternativas cada vez mais eficientes, mais baratas e mais precisas.

Em artigo intitulado *Localización de Vehículos: Fusión de Medidas GPS y Odometría*, os autores propõem uma abordagem algorítmica para estimar a localização precisa de veículos com base na fusão das medidas fornecidas por um receptor GPS diferencial e pelos sensores internos do veículo cujo objetivo do método de fusão proposto é alcançar um compromisso entre confiabilidade e precisão das medições e preço dos dispositivos sensoriais (POZO-

RUZ et al, 2000, p.1). De acordo com os autores,

o algoritmo de fusão proposto parte de uma caracterização dos erros associados às medições fornecidas pelos diferentes sensores a bordo do veículo, bem como das relações de dependência existentes entre eles. (POZO-RUZ et al, 2000, p.1)

Além dos sinais recebidos pelos receptores GPS sofrerem constantes atualizações por serem considerados vulneráveis a interferências naturais e artificiais, como as eletromagnéticas, empastelamento (*jamming*⁴) e falsificações (*spoofing*), os alvos precisam estar parados e os mapas atualizados.

A vulnerabilidade ao empastelamento é a maior fraqueza do sistema, sobretudo num teatro de operações (MONTEIRO, 2007)

A falsificação é outra vulnerabilidade que compromete a eficiência e a segurança no fornecimento de dados dos serviços militares e civis do GPS. Os receptores GPS podem ser falsificados por ameaças de *spoofing*, resultando em catástrofes nos teatros de operações militares. Importante ressaltar que, constantemente, ao longo dos anos, os desenvolvedores têm elaborado contramedidas anti-empastelamento, como o *spread spectrum*⁵, que aumenta significativamente a resistência a

interferências eletromagnéticas e empastelamento, e contramedidas anti-*spoofing*, como sinais militares cifrados do Serviço de Posicionamento Preciso do GPS.

Há outros riscos e ameaças aos usuários militares e civis associados ao uso de tecnologias integradas ao GPS, como pulseiras e relógios inteligentes, aparelhos conectados à *Internet of things* (IoT) e outros dispositivos, como *tablets*, *smartphones* e relógios, que possam indicar a localização de militares em áreas de guerra e não guerra. A Agência de Segurança Nacional (NSA, sigla em inglês) enfatiza esses riscos e ameaças. Ela recomenda aos militares estadunidenses o fornecimento do mínimo possível de permissões dos mais diversos aplicativos que solicitem informações do usuário e a desativação de recursos que permitam encontrar aparelhos perdidos ou roubados. Matéria divulgada pelo *The Wall Street Journal* relatou que agências de imigração e alfandegária dos EUA usam esses dados comprados com base em informações de localização emitidas por GPS para monitorar e controlar fluxos migratórios ilegais pelas fronteiras do País. No início de 2020, o Departamento de Segurança Interna dos EUA teria confirmado a compra e a venda de dados de localização com base em informações emitidas por GPS desde, pelo menos, o ano de 2017. A NSA receia que governos inimigos dos EUA possam usar o GPS para comprar informações de localização de militares estadunidenses (OLHAR DIGITAL, 2020a).

⁴Empastelamento significa o embaralhamento de meios eletrônicos de forma intencional e deliberada.

⁵Trata-se de uma técnica de codificação para transmissão de sinais por meio de “espelhamento de frequência”.

Criado em primeiro de julho de 2018, o Comando do Exército do Futuro dos EUA (AFC, sigla em inglês), localizado em Austin, no Texas, tem por missão modernizar a Força Terrestre desenvolvendo requisitos operacionais, organizações e materiais em longo prazo.

Basicamente, o Comando do Exército do Futuro norte-americano desenvolve a elaboração de concepções futuras (diante uma ameaça/desafio, desenvolve conceitos para sistemas futuros). Após o equilíbrio desses conceitos, são distribuídos recursos para a elaboração de experimentos, protótipos e eventuais aquisições. Por fim, após os experimentos e estabelecimento de conceitos doutrinários e programas de treinamento, são realizados os projetos de aquisição, produção e manutenção para o Exército norte-americano das capacidades geradas no processo. (DOMINGUES SILVA, 2020, p.p.41-42)

Dentre as áreas de projetos que o AFC busca desenvolver se encontram as redes móveis e expedicionárias, com foco em PNT. Embora continue apoiando os esforços da Força Aérea para desenvolver uma nova geração de satélites GPS que emitam sinais mais fortes, o AFC tem investido em tecnologias para reduzir sua dependência do GPS e tem treinado tropas em táticas de Guerra Eletrônica. Expressando publicamente profundas preocupações com bloqueios de sinais GPS nos teatros de operações da guerra do futuro, o general John Murray, então comandante do AFC, anunciou diversas ações: (a) a criação de uma Equipe Multifuncional de Posicionamento,

Navegação e Tempo Assegurado; (b) a implantação de um novo dispositivo GPS antibloqueio para os veículos blindados leves *Stryker* do 2º Regimento de Cavalaria, baseado na Alemanha⁶; (c) a alocação de Sistema de Navegação e Cronometragem de Precisão Garantida Montada (MAPS, sigla em inglês) em veículos blindados pesados, como o Veículo de Combate *Bradley*, o tanque M1 *Abrams* e a Viatura Blindada de Combate Obuseiro Autopropulsado (VBCOAP) M109 *Paladin*; e (d) o treinamento avançado em guerra de navegação para que os soldados estejam mais bem preparados para ambientes operacionais de GPS negado ou degradado (SPACE NEWS, 2019). Em julho de 2019, soldados do Exército dos EUA participaram de um Exercício de Avaliação do PNT (PNTAX) no *White Sands Missile Range*, no Novo México, para operar e testar novas tecnologias PNT em diferentes estágios de amadurecimento em ambientes operacionais de GPS negado ou degradado. Além do aprimoramento de contramedidas e de medidas de segurança da informação do GPS, organizações militares, têm desenvolvido diversas tecnologias de PNT com a finalidade de reduzir a dependência tecnológica da Força Terrestre dos EUA do GPS em *Multi-Domain Operations* (MDO, sigla em inglês). Em agosto de 2019, em entrevista, segundo o coronel Nick Kioutas, gerente do PNT:

⁶A expectativa é que centenas de outros veículos militares em todo o teatro de operações do Comando Europeu dos Estados Unidos sejam equipados com esses dispositivos no curto e médio prazo.

(...) o Exército adotou uma abordagem em camadas para garantir dados precisos de posição e tempo (...). Essa abordagem inclui a integração de tecnologias que não sejam de radiofrequência no campo de batalha, como sistemas de navegação baseados em inércia, relógios atômicos embutidos em *chips* e odômetros usados por soldados ou montados em veículos. (EUA, 2019)

Sistemas de Navegação Inercial (INS, sigla em inglês), medem movimentos lineares e/ou angulares pelo processamento das grandezas de um ou mais sensores inerciais, como bússola, acelerômetro e giroscópio, fornecendo informações de geolocalização. A bússola aponta o norte magnético, criando um ponto de referência para o sistema, o giroscópio identifica para qual lado o usuário se movimenta fazendo uso de um ponto de referência anteriormente mencionado e o acelerômetro calcula a velocidade que o usuário está se movimentando. Devido às falhas técnicas de medição da localização, que podem variar com uma diferença entre milímetros nos primeiros minutos e falhas de até mesmo um quilômetro depois da primeira hora, os atuais sistemas de navegação inercial, sobretudo, em teatros de operações militares, ainda não são capazes de substituir o GPS. Falhas e oscilações no cálculo da precisão da localização dos atuais INS que operam apenas com as três ferramentas podem causar catástrofes em operações de guerra. No entanto, desde 2012, as empresas STMicroelectronics e CSR vêm trabalhando no desenvolvimento de um projeto

experimental usando sistema de navegação inercial em ambientes de negação de GPS que apresenta bússola, giroscópio, acelerômetros e um sensor de pressão (CHIU, 2012). A expectativa é que no futuro, este projeto experimental disponibilize um INS muito mais preciso, no qual o sensor de pressão seja capaz de calcular a localização do usuário com precisão comparada a do GPS.

Relógios atômicos são medidores de tempo que operam com base na propriedade do átomo sob estímulo externo, como ondas eletromagnéticas. Cada segundo de unidade de tempo corresponde à 9.192.631.770 ciclos de radiação e dentre os elementos mais utilizados nos relógios atômicos, encontram-se o hidrogênio, o rubídio e o césio. Os *chips* embutidos em relógios atômicos citados pelo Coronel Kioutas podem ser utilizados em aparelhos movidos a pilhas ou por baterias, quantificando com precisão a distância entre objetos, cronometrando quanto tempo leva um sinal para sair do ponto A até o ponto B. Em junho de 2019, o Laboratório de Propulsão a Jato da NASA, em Pasadena, na Califórnia, lançou o *Deep Space Atomic Clock*, um relógio atômico que calcula a trajetória de naves espaciais autônomas ou tripuladas no espaço profundo de forma independente dos sistemas de navegação da Terra. A expectativa dos cientistas da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA, sigla em inglês) é que no futuro estes relógios informem com precisão a hora e a distância entre os pontos A

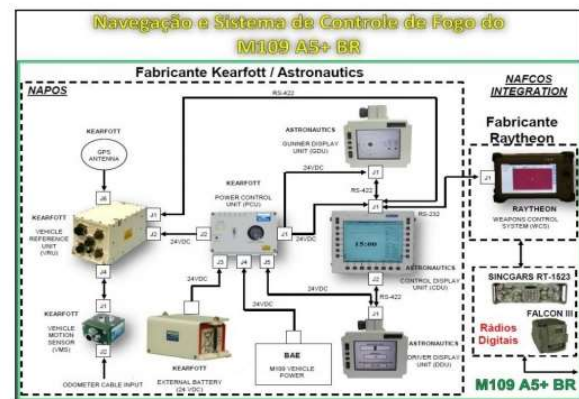
e B em nanossegundos. É possível que os avanços no desenvolvimento desses relógios também possam ser considerados alternativas tecnológicas ao GPS para os exércitos em MDO na guerra do futuro.

Embora não sejam considerados substitutos do GPS na guerra do futuro, os odômetros são imprescindíveis para medir a quilometragem e avaliar as condições de desgaste de veículos militares. Odômetro é um sistema mecânico ou digital de contagem da distância que indica a quilometragem percorrida. Com o avanço das tecnologias da Guerra Eletrônica, os odômetros mecânicos são cada vez mais raros em veículos militares. Embora em menor proporção que os sistemas mecânicos, os odômetros digitais também estão sujeitos a adulteração e, de forma integrada a outras tecnologias de Comunicação Militar, contribuem de forma significativa com a flexibilidade de emprego; a atuação em seções; o aumento do alcance; a velocidade de entrada e saída de posição com maior rapidez e facilidade; o aumento da mobilidade estratégica; e, sobretudo, com o aumento do apoio de fogo de veículos militares. Em trabalho de monografia defendido na Escola de Aperfeiçoamento de Oficiais do Exército Brasileiro, o então Capitão Tiago Alvez Ebling, desataca o *FM 3-09.70, Tactics, Techniques, and Procedures do M109A6 Howitzer (Paladin)* de 2000, manual do Exército estadunidense de operação da *VBCOAP M109 A6 Paladin*, como divisor de águas nas Táticas, Técnicas e

Procedimentos (TTP) de artilharia de campanha que compõe a *VBCOAP M109 A5 + BR*.

O Exército Brasileiro adquiriu 32 unidades *VBCOAP M109 A5* dos EUA como parte do projeto de modernização da Artilharia de Campanha, cuja responsabilidade de adequação e de avaliação técnica do funcionamento dos novos obuseiros do Exército Brasileiro era da empresa *BAE System*.

Figura 2: Navegação e o Sistema de Controle de Fogo do M109 A5 + BR



Fonte: Simpósio de Melhores Práticas OM Art AP, 2014.

Conforme demonstrado na **Figura 2**, o manual *FM 3-09.70, Tactics, Techniques, and Procedures* define o odômetro do *Vehicle Motion Sensor (VMS, sigla em inglês)* como componente essencial de comunicação tecnológica integrada do Sistema Automático de Controle de Tiro do *VBCOAP M109 A6 Howitzer (Paladin)*.

O VMS é um drive mecânico que converte as saídas do odômetro do veículo a sinais elétricos como uma medida de deslocamento de armas. O VMS, localizado no compartimento do motor, é acionado diretamente a partir da

saída de transmissão unidade para o cabo do odômetro. O VMS fornece as informações eletrônicas para o modem VMS. (EUA, 2000, p. 1-6 APUD EBLING, 2018, p.9)

O odômetro digital como componente do VMS, operando de forma integrada com as demais tecnologias e sistemas de Comunicação Militar citadas por Ebling, possibilitam melhor controle, rapidez, precisão e gerenciamento da linha de fogo como um todo no VBCOAP M109A5 + BR.

4. Análise de ciclo de vida útil do GPS

Especialistas em Comunicação Militar e Guerra Eletrônica apontam que no longo prazo será possível que inovações disruptivas sejam capazes de substituir o GPS na guerra do futuro. Exemplos destas inovações disruptivas são os pseudólitos e os satélites *Starlink* da empresa privada *SpaceX*. Contudo, como veremos mais à frente, a substituição pela inovação tecnológica concorrente ocorre quando a inovação que a precede se encontra na fase de declínio de seu ciclo de vida. Daí a necessidade de analisar a maturidade tecnológica do GPS por meio de ferramentas de prospecção, a fim de se certificar ou não que o GPS se encontra na fase de declínio.

Conforme artigo intitulado *Technology futures analysis: toward integration of the field and new methods*, Alan L. Porter (2004) apresenta as famílias e ferramentas metodológicas de prospecção tecnológica. A ferramenta de análise de ciclo de vida na

classificação adaptada de Porter pertence à família de Modelagem e Simulação (SANTOS et al, 2004, pp. 198-199). Em geral, o ciclo de vida de uma inovação tecnológica é analisado sob os seguintes parâmetros: introdução, crescimento, maturidade e declínio. Não se pretende, neste estudo, prever a dimensão do GPS em cada fase nem precisar em que momento essa inovação entrará na fase de declínio.

As fases de introdução e de crescimento correspondem, respectivamente, a fase inicial da vida da inovação em que é lançada no mercado e a fase em que a inovação é aceita e conquista o mercado. Como temos analisado, o GPS já passou destes dois ciclos de sua vida útil. Na fase da maturidade, há fatores de criticidade e variáveis que precisam ser consideradas, como: alta participação da inovação tecnológica no mercado, geração de lucros e rentabilidade à empresa, baixo investimento na divulgação e familiarização do usuário/consumidor com a tecnologia e pouca competição no mercado. Numa análise qualitativa a partir de informações já expostas neste estudo, é possível afirmar que o GPS apresenta alta participação no mercado, continua gerando lucro em maior volume e é extremamente rentável ao governo estadunidense. O GPS é uma tecnologia já consolidada no mercado de produção, processamento, gerenciamento, análise de dados e distribuição de produtos tecnológicos e sistemas geoespaciais. Além disso, o

usuário/consumidor já é familiarizado com a tecnologia. Na fase de declínio, a tecnologia começa a perder participação no mercado. Fatores críticos podem se somar a esta variável, como: os usuários/consumidores mudarem suas preferências e optarem pelas empresas concorrentes e os desenvolvedores da tecnologia deixarem de investir recursos nessa tecnologia. Além de o governo estadunidense continuar a investir em recursos humanos, materiais e tecnológicos para aprimorar o GPS, como já foi descrito, investe também em aprimoramento de medidas de segurança da informação e em contramedidas anti-empastelamento e anti-*spoofing*. Imperativo reforçar que, no curto prazo, nenhuma das tecnologias geoespaciais aqui descritas são capazes de substituir o GPS no curto prazo.

5. Substituição tecnológica do GPS pelo Exército dos EUA

A ferramenta de substituição tecnológica na classificação adaptada de Alan Porter também pertence à família de Modelagem e Simulação (SANTOS et AL 2004, pp. 198-199). O processo de substituição tecnológica numa organização pode ocorrer de forma parcial ou total. A difusão da inovação tecnológica ocorre entre os ciclos da introdução e do crescimento. É aí que outras organizações deste segmento adotam a mesma inovação tecnológica por razões técnicas ou econômicas, tornando-se concorrentes. Também é nesse momento que

“o novo produto ou processo substitui um outro mais antigo com vantagens técnicas e econômicas” (SOBRAL, 1977, p.3). Existem diversos modelos de substituição tecnológica em que a substituição ocorre dentro da própria indústria que desenvolveu a inovação tecnológica ou que a substituição se dá em outra empresa que recebe como insumo essa inovação. É possível ainda que uma subsidiária ou uma *spin-off* substitua a inovação desenvolvida pela empresa matriz. Dependendo do modelo, a substituição tecnológica pode promover crescimento econômico, melhorar as condições de trabalho e a qualidade de vida, reduzir o tempo de ocupação na produção de bens ou serviços, otimizar a automatização dos meios de produção e implantar novos processos educacionais e organizacionais na empresa.

Que fatores deve uma firma considerar em decidir se deve ou não lançar o novo produto? Em primeiro lugar, deve estimar a taxa de retorno esperada de introduzi-lo. O resultado, obviamente, dependendo investimento de capital requerido para lançá-lo, as vendas previstas, os custos estimados de produção e os efeitos desse novo produto sobre os custos e vendas da linha de produtos existentes da firma. Esses fatores dependem em parte de uma política de preços da firma, além das características do novo produto. Em resumo, a firma deverá estimar, da melhor forma possível, os riscos envolvidos em tal situação. Estes riscos devem ser substanciais, pois em geral, de cada dez produtos que emergem de pesquisa e desenvolvimento, cinco falham no teste do produto e/ou no teste de mercado, e dos cinco que passam nestes testes apenas dois tornam-se sucessos comerciais. (SOBRAL, 1977, p.7)

Processos de substituição tecnológica também podem ser explicados por meio de modelagem matemática empregando, por exemplo, curvas logísticas em formato de S (*S-Shaped Curves*). Nesta abordagem quantitativa,

o processo de substituição se inicia de forma lenta até que sejam superados os problemas e as resistências iniciais, quando então o processo ocorre de forma mais rápida até que a competição entre a velha e a nova tecnologia se torne mais forte e a nova tecnologia se torne mais vantajosa, e finalmente esta se aproxima da saturação e inicia um processo de declínio, ao mesmo tempo em que outra tecnologia, ganha aceitação, principalmente pelo fato de ser mais eficiente; é quando então o processo de reinicia. (REDDY, 1996 APUD BALESTIERI, 2014)

O custo marginal de uma tecnologia é reduzido de forma sistemática após uma fase de grandes investimentos iniciais em Pesquisa & Desenvolvimento (P&D) e um mercado incipiente. Quanto mais a tecnologia for adotada, mais ela se torna barata e menores são os riscos de incerteza. (BALESTIERI, 2014) A inovação tecnológica, mudanças nos custos relativos e na qualidade e/ou redução da quantidade de usuários são os responsáveis pelo início do processo de declínio da tecnologia. No entanto, não necessariamente a substituição acompanha a incerteza quanto à demanda futura (PORTER, 2004, p.268).

a substituição tecnológica ocorre entre organizações de mesmo segmento geoespacial. Embora o GPS se encontre em plena fase de maturidade de seu ciclo de vida, organizações militares

extremamente dependentes da prestação deste serviço geoespacial, como o Exército dos EUA, têm elaborado estudos de substituição desta tecnologia visando o aumento de capacidades militares em seus planejamentos estratégico-operacionais de longo prazo. Nas palavras de Charlie Miller, chefe da divisão de Posicionamento, Navegação e Tempo da Diretoria de Comando, Potência e Integração, subordinada ao Comando de Comunicações do Exército dos EUA, mais de 12.000 milhas separam a Terra dos satélites GPS e a potência do sinal recebido é muito baixa e frágil (...) nosso objetivo é desenvolver tecnologias inovadoras, não via satélite, que possam substituir o GPS quando seu sinal estiver temporariamente comprometido.⁷ (2016)

Miller destacou os pseudólitos como uma das tecnologias candidatas a substituir o GPS e uma solução multifacetada para operações militares em ambientes com GPS negado na guerra do futuro. Os pseudólitos também incluem transmissores, mas em vez de sinais vindos do espaço, estes sinais são transmitidos mais perto da Terra e residem em plataformas como uma tenda, veículo ou aeronave voando baixo, fornecendo proteção de área e dados PNT usando transmissores de satélite GPS de navegação por rádio terrestre e aérea em ambientes eletronicamente ou fisicamente desafiados, usando um sinal de maior potência (C4ISRNET, 2015). Corroborando com Miller, segundo John Delcolliano, chefe da Divisão de Sistemas Integrados do Centro de Pesquisa, Desenvolvimento e Engenharia de

⁷Para acessar esta matéria publicada na página oficial do Exército dos EUA, clique aqui: https://www.army.mil/article/169033/pseudolites_prese_rve_position_information_during_gps_denied_conditions

Comunicações-Eletrônica (CERDEC) C, P&I PNT,

a proximidade dos pseudólitos com o solo permite que os soldados obtenham informações de posição em ambientes que o GPS normalmente se esforça para alcançar, incluindo florestas, vales e desfiladeiros, ou mesmo parcialmente dentro dos prédios da cidade (...) Pseudólitos também são mais difíceis para o inimigo bloquear em comparação com o sinal de GPS.⁸ (2016)

O Programa de Relatórios Diretos PNT do Exército dos EUA foi ativado em 2015 com a finalidade de abordar questões e iniciativas críticas relacionadas às capacidades PNT em todos os portfólios do Exército. Além disso, a CERDEC também está promovendo esforços de pesquisa e desenvolvimento de PNT para refinar e amadurecer soluções de pseudólitos. Outra estrutura em C, T&I para gerenciar tecnologias de pseudólitos foi o Programa PNT, subordinado diretamente ao Secretário Adjunto do Exército para Aquisição, Logística e Tecnologia (ASA/ALT), no âmbito do Sistema da Diretoria de Engenharia de Sistemas e Integração do Exército dos EUA. Esse Programa coordena os portfólios ASA/ALT e trabalha conjuntamente com os escritórios executivos de programas e gerentes de programas do exército para garantir que a Força Terrestre norte-

americana incorpore uma abordagem empresarial ao PNT.

O Exército dos EUA tem manifestado publicamente profundas preocupações com relação às interferências intencionais de Guerra Eletrônica na emissão de sinais a receptores GPS militares e tem focado na aquisição/desenvolvimento de satélites menores e de baixa órbita terrestre (LEO, sigla em inglês). Diferente do GPS, os satélites LEO se movem na velocidade de rotação da Terra, estão posicionados acima de um local fixo e orbitam entre 100 e 1.240 milhas acima do planeta. Como os satélites LEO estão cerca de 200 vezes mais próximos da superfície terrestre do que os satélites do GPS, as ondas de rádio apresentam muito menos latência e a transmissão de sinais é muito mais rápida. No entanto, há preocupações relacionadas à prestação de serviços rápidos de banda larga. Sobre a proliferação de satélites LEO de empresas privadas como a *Amazon*, a *Telesat* e a *SpaceX*, Jason Joose, chefe do Estado-Maior da Equipe Multifuncional de Posicionamento, Navegação e Sincronização do Exército dos EUA disse o seguinte:

quando você olha para o grande número de satélites que sobem e o custo reduzido para fazer isso, isso nos dá uma série de oportunidades de como resolver os problemas. (ARMY NEWS SERVICE, 2020)

Manifestando preocupações com relação a ataques de empastamento e falsificações, Joose defende o investimento do

⁸Para acessar esta matéria publicada na página oficial do Exército dos EUA, clique aqui: https://www.army.mil/article/169033/pseudolites_prese_rve_position_information_during_gps_denied_conditions

Exército em recursos geoespaciais, como satélites próprios ou em parcerias com empresas que explorem estas oportunidades mirando nas áreas em que o Exército dos EUA poderá alavancar na guerra do futuro (ARMY NEWS SERVICE, 2020).

Recentemente, Peter A. Iannucci e Todd E. Humphreys, ambos do Laboratório de Radionavegação da Universidade do Texas, em Austin, publicaram artigo intitulado *Fused Low-Earth-Orbit GNSS*, no qual concluíram que o GPS pode ser substituído pelos satélites *Starlink*, rede de satélite em órbita terrestre baixa de baixo custo que fornece serviços de navegação, altamente preciso e quase invulnerável. Ao contrário do GPS que atinge menos de 100 bits por segundo, os satélites *Starlink* são considerados eficientes roteadores de *Internet* no espaço, capazes de atingir 100 megabits por segundo (IANNUCCI, HUMPHREYS, 2020, p.14).

A rede satélite *Starlink* é um projeto em andamento da empresa privada estadunidense *SpaceX*, classificada como LEO, de baixo custo, alto desempenho e com capacidade de transmissão rápida de *Internet* de banda larga de alta velocidade para locais onde o acesso não é confiável, seja caro ou esteja completamente indisponível. No âmbito da exploração sustentável do espaço, conforme informações da própria *SpaceX*,

no final da vida útil, os satélites utilizarão seus sistemas de propulsão a bordo para desorbitarem ao longo de alguns meses. No caso improvável do sistema de propulsão se

tornar inoperante, os satélites queimarão na atmosfera da Terra dentro de 1 a 5 anos, significativamente menos do que as centenas ou milhares de anos necessários em altitudes mais elevadas.⁹

Em 23 de maio de 2019, a *SpaceX* lançou 60 satélites *Starlink* da classe *Falcon 9 Full Thrust Block 5* (F9 B5) de propulsão iônica movidos por criptônio¹⁰ com sensores *Star Tracker* a uma órbita de 450 km a partir da Estação da Força Aérea de Cabo Canaveral, na Flórida. *Star Tracker* é o modelo de sensor interno customizado que informa a cada satélite sua altitude e o posicionamento preciso da taxa de transferência de banda larga.

Conforme cronograma, a empresa pretende lançar cerca de 1.584 satélites F9 B5 em 24 planos orbitais com 66 satélites cada. A *Starlink* pretende prestar serviços de localização, horário e banda larga de *Internet* na região norte dos EUA e Canadá. A partir de 2021, a prestação de serviço da *SpaceX* será expandida a nível global.

6. Redução da dependência tecnológica do GPS nos planos estratégicos do Exército Brasileiro

De acordo com o Plano Estratégico do Exército (PEEx) 2020-2023, diversas áreas de pesquisa aplicáveis aos projetos de desenvolvimento de Produtos de Defesa (PRODE) que envolvem direta e

⁹ Para acessar esta matéria publicada na página oficial da SpaceX, clique aqui: <https://www.starlink.com/>

¹⁰ Sistema de propulsão que permite que o satélite orbite, manobre no espaço e desorbite ao final de sua vida útil.

indiretamente a área de Comunicação Militar e Guerra Eletrônica foram propostas pelo DCT para o EB, tais como: sistemas de guerra eletrônica, sistemas de informação, engenharia de sistemas, fusão de dados, processamento de sinais, simulação e simuladores, geoinformação, segurança da informação, computação de alto desempenho, antenas, potência pulsada e redes de dados com ênfase da Internet das Coisas (IoT) (BRASIL, 2019^a, pp. 54-59 Apud CORRÊA, 2020, p. 45).

A Geoinformação é uma área de pesquisa aplicável a projetos de desenvolvimento de PRODE que proporciona inúmeros elementos informativos e ferramentas de análise com vínculo geográfico em múltiplos espaços, os quais permitem a precisão da localização tanto para aplicações civis quanto para aplicações militares, inclusive planejamento de operações militares.

Na figura 8, é possível observar que a Geoinformação fornece suporte tecnológico para uma ampla variedade de usos, como: aquisição de dados de diferentes fontes, armazenamento e manipulação, análise, visualização e disponibilização.

Figura 3: Etapas de Produção da Geoinfo



Fonte: (BRASIL, 2014, p.28)

Segundo o Manual de Campanha EB20-MC-10.209 de Geoinformação de 2014 (1ª Edição), dentre as principais tecnologias e sistemas de geoinformação se encontram: (1) Sistemas Satelitais; (2) Sensoriamento Remoto; (3) Posicionamento Global por Satélite; (4) Comunicações por Satélite; (5) Sistemas de Informações Geográficas; (6) Sistemas de Processamento Digital de Imagens; e (7) Topografia.

Conforme vem se detalhando, os sistemas satelitais e GPS são os objetos deste estudo prospectivo. De acordo com este Manual, as áreas de aplicação dos sistemas satelitais no Exército Brasileiro são: a)

Sensoriamento Remoto, no qual imagens de sensores orbitais são disponibilizados; b) Posicionamento Global, no qual coordenadas terrestres em tempo real são disponibilizadas de forma contínua e com alta precisão; c) Comunicações, nas quais a conexão contínua de diferentes pontos da superfície terrestre e provisão de correções de coordenadas para sistemas de posicionamento são definidas com precisão refinada; e d) Gravimetria, em que se determina a gravidade terrestre contínua em diferentes pontos da superfície como mecanismo de controle das altitudes. (BRASIL, 2014, p.19)

O ambiente operacional da guerra do futuro está em constante mutação, exigindo investimentos do Exército no aumento contínuo nas capacidades de controle/comando e na flexibilidade e mobilidade estratégica. No Exército dos EUA, essas mudanças no ambiente operacional, como mencionado anteriormente, ganharam a denominação de MDO. No Exército Brasileiro, as constantes mudanças no ambiente operacional da guerra do futuro ganharam a denominação de Operações de Amplo Espectro (OAE).

As operações [OAE] constituem-se, também, na aplicação dos meios de combate, de forma simultânea ou sucessiva, combinando atitude ofensiva, defensiva, de pacificação, de Garantia da Lei e da Ordem, de apoio às instituições governamentais e internacionais e de assistência humanitária, em ambiente interagências. (NASCIMENTO, 2013, p. 9)

Dentre as OAE, encontram-se as ofensivas, as defensivas, as de Garantia da Lei e da Ordem (GLO), as de apoio a órgãos governamentais, as de pacificação e as de ajuda humanitária. Há uma grande dependência do Exército Brasileiro da prestação de serviços de localização, horário e banda larga de *Internet* oferecido por SAT-NAVs estrangeiros. Parte do contingente militar da Força Terrestre é doutrinada, preparada e capacitada para atuar em OAE sob quaisquer tipos de condições. Em operações de guerra na selva, por exemplo,

a constatação de que equipamentos receptores GPS não funcionam corretamente sob a densa cobertura vegetal da floresta, por exemplo, fez com que o Exército restringisse seu uso somente à instrução e a casos nos quais a determinação de coordenadas precisas é imprescindível, como numa evacuação aeromédica. Força excessivamente dependente de recursos tecnológicos como o GPS poderia ficar em sérios apuros na Amazônia (REIS E SILVA, 2011).

Por outro lado, um dos maiores programas do Exército Brasileiro é o Sistema Integrado de Monitoramento de Fronteiras (SISFRON). Esse é um sistema integrado de sensoriamento e de apoio à decisão em apoio ao emprego operacional. Dentre os eventos criminosos na faixa de fronteira brasileira, situam-se: tráfico de drogas, roubo de cargas e veículos, tráfico de armas e munições, crimes ambientais, refúgio de criminosos, contrabando e descaminho, exploração sexual infanto-juvenil, tráfico de pessoas, rota de

veículos roubados, abigeato (roubo de gado), pistolagem, evasão de divisas e turismo sexual.¹¹ O objetivo do SISFRON é fortalecer a presença e a capacidade de monitoramento e de ação do Estado na faixa de fronteira terrestre, potencializando a atuação dos entes governamentais com responsabilidades sobre a área. Além de ter que incrementar a capacidade de monitorar as áreas de fronteira, assegurar o fluxo contínuo e seguro de dados entre diversos escalões da Força Terrestre, o SISFRON terá que desdobrar meios de sensoriamento ao longo dos 16.886 quilômetros da linha terrestre de fronteira. Isto irá requer a aquisição/desenvolvimento no curto, médio e longo prazo de recursos tecnológicos que colem, processem, gerenciem e analisem dados geoespaciais da superfície terrestre.

Enquanto a Embratel pertencia ao Estado, as Forças Armadas tinham à disposição um satélite geoestacionário de comunicações genuinamente nacional que lhes prestava serviços na banda X. No entanto, quando a Embratel passou a ser privatizada, os satélites brasileiros que operavam na banda X passaram a ser controlados pela Embratel *Star One* e as Forças Armadas passaram a pagar a estrangeiros a prestação de serviços na banda X. A Visiona Tecnologia Espacial S.A.,

empresa brasileira de economia mista criada em 2012, visando recuperar a autonomia e soberania na área de Comunicações Militares via satélite, atuou como integradora na implantação do Satélite Geoestacionário de Defesa e Comunicações Estratégicas (SGDC). A curto e médio prazo, esse satélite atenderá as demandas da Força Terrestre, sobretudo, do SISFRON, ao aumentar as capacidades de controle/monitoramento, flexibilidade e mobilidade estratégica por meio do fornecimento/aquisição/desenvolvimento de dados, sistemas e tecnologias geoespaciais sem depender totalmente da prestação de serviços na banda X do exterior.

7. Conclusão

Apenas cinco países e uma organização internacional até hoje foram capazes de desenvolver SAT-NAVs de alcance global ou regional via satélite. Esses atores controlam a produção, o processamento, o gerenciamento, a análise e a distribuição de dados, sistemas e tecnologias geoespaciais no sistema internacional. Desses SAT-NAVs, quatro direcionam suas atividades também para aplicações militares: o GPS, o *Glonass*, o *Compass* e o IRNSS. E desses quatro, apenas dois são sistemas com aplicações militares de alcance global: o GPS e o *Glonass*. Em cenários de guerra, a interrupção do fornecimento de dados geoespaciais e a captura de dados podem ser catastróficas para os exércitos que dependem dos serviços desses SAT-NAVs. *Laser*,

¹¹Para ter acesso aos eventos criminosos na faixa de fronteira, clique aqui: http://www.fiepr.org.br/cinpr/servicoscin/promocaoocomercialcin/uploadAddress/16.10 - SISFRON - ApresFIEP_21Jul14%5B56656%5D.pdf

TERCOM, modernas plataformas inerciais com sensores de pressão, relógios atômicos embutidos em *chips* e odômetros digitais integrados em sensores de movimento de veículos e todos os demais SAT-NAVs são complementares ao GPS. Embora nenhuma das alternativas tecnológicas apresentadas neste estudo tenha capacidade e critérios de criticidade no curto e médio prazo para substituir o GPS nos teatros de operações militares, é imprescindível que os países e organizações que ainda não são capazes de desenvolver seus próprios SAT-NAVs busquem estudos que prospectem tecnologias alternativas e substitutivas ao GPS na guerra do futuro.

O Exército dos EUA tem manifestado publicamente profundas preocupações com relação às interferências intencionais de Guerra Eletrônica na emissão de sinais a receptores GPS. Nesse contexto, ele tem buscado desenvolver estudos que prospectem tecnologias alternativas e substitutivas ao GPS na guerra do futuro, explorando oportunidades de parcerias com a indústria privada de tecnologias geoespaciais.

Os pseudólitos e a *Starlink* são consideradas por técnicos e especialistas em Comunicação Militar e Guerra Eletrônica inovações disruptivas com capacidade de substituir o GPS na guerra do futuro. No entanto, ainda se encontram no início do ciclo da introdução tecnológica no mercado. Conforme enquadramento sugerido por João Bosco Mangueira Sobral, são necessários

maiores dados estatísticos e informações, tais como estimativa da taxa de retorno esperada e investimento de capital requerido pela introdução da tecnologia no mercado; vendas previstas; custos estimados de produção; efeitos dessa nova tecnologia sobre os custos e vendas da linha de produtos tecnológicos já existentes na empresa; estabelecimento de uma política empresarial de preços; estimativa dos riscos substanciais envolvidos em tal empreendimento; entre outras. Após obter esses dados no âmbito de estudos prospectivos ainda mais aprofundados ao longo do amadurecimento tecnológico, será possível avaliar se, de fato, os pseudólitos e a *Starlink* serão capazes de substituir o GPS na guerra do futuro.

Desde que o governo brasileiro privatizou a Embratel, o EB depende do fornecimento de sinais GPS de satélites estrangeiros. Com o SGDC e a possível aquisição de novos satélites a curto prazo, o EB pode conseguir reduzir a dependência de serviços prestados por tecnologias e sistemas satelitais estrangeiros, sobretudo, do GPS. Contudo, o Exército Brasileiro ainda é extremamente dependente de serviços, sistemas e tecnologias geoespaciais estrangeiras. Caso haja interrupção intencional ou acidental temporária ou permanente no fornecimento da transmissão de sinais satelitais, sobretudo, do GPS, poderá haver comprometimento numa ordem incalculável para boa parte da Força Terrestre e seus programas estratégicos em OAE.

Diferente de países como China e Japão, o governo brasileiro não tem planos de curto, médio e longo prazo para desenvolver autonomamente SAT-NAVs ou inovações disruptivas, como pseudólitos ou sistemas de satélites LEO. Contudo, recomenda-se que, semelhante ao Exército dos EUA, o Exército Brasileiro explore o universo de ferramentas metodológicas de gestão tecnológica,

sobretudo, as de prospecção, para adquirir/desenvolver sistemas e tecnologias alternativas e substitutivas geoespaciais de aplicações militares mais precisas, mais baratas, mais eficientes e mais seguras que reduzam a médio e longo prazo a dependência tecnológica da Força Terrestre em Operações de Amplo Espectro dos GNSS.

Referências

[BRASIL] Relatório de Gestão do Exército Brasileiro. Exército Brasileiro. Exercício de 2018. Ministério de Defesa. 2019. Disponível em: <http://www.cciex.eb.mil.br/images/pca/2018/cmdopca2018.pdf> . Acesso em: 19 nov. 2020.

[BRASIL] Manual de Campanha EB20-MC-10.209 de Geoinformação. Exército Brasileiro. 1ª Edição, 2014. Disponível em: <http://www.geoportal.eb.mil.br/portal/images/PDF/EB20-MC-10.209.pdf> . Acesso em: 16 dez. 2020.

BAILEY, Kathryn. Pseudolites preserve position information during GPS-denied conditions, Army USA, 13 de junho de 2016. Disponível em: https://www.army.mil/article/169033/pseudolites_preserve_position_information_during_gps_denied_conditions . Acesso em: 16 dez. 2020.

BALESTIERI, José Antônio Perrella. Geração de energia sustentável. São Paulo: Editora Unesp, 2014.

CHIU, Yu-Tzu. Trying Out Indoor Navigation Using Inertial Sensing. IEEE Spectrum, 20 de dezembro de 2012. Disponível em: <https://spectrum.ieee.org/consumer-electronics/portable-devices/trying-out-indoor-navigation-using-inertial-sensing> . Acesso em: 15 dez. 2020.

CORRÊA, Fernanda das Graças. Planejamento Baseado em Capacidades e Transformação da Defesa: desafios e oportunidades do Exército Brasileiro. Revista Artigos Estratégicos. Vol 8 (1) Jan/Jun 2020. Disponível em: <http://ebrevistas.eb.mil.br/index.php/CEEEExArE/article/view/4843/4128> . Acesso em: 19 nov. de 2020.

CORRÊA, Fernanda das Graças. Prospecção Tecnológica em Defesa e o Futuro da Guerra. Revista Análise Estratégica. Vol. 18 (4) Set/ Nov 2020.

DOMINGUES DA SILVA, Charles. O Planejamento Baseado em Capacidades e o advento do Exército do Futuro: convergências. Revista Análise Estratégica. Vol 17 (3) Jun/ Ago 2020. Disponível em: <file:///C:/Users/catar/Downloads/6411-Texto%20do%20artigo-12619-1-10-20201002.pdf> . Acesso em: 17 dez. 2020.

EBLING, Tiago Alvez. Atualização do Manual Baterias do Grupo de Artilharia de Campanha em Virtude da Aquisição da VBCOAP 109 A5 + BR. Especialização em Ciências Militares com ênfase em Gestão Operacional, Escola de Aperfeiçoamento de Oficiais, Exército Brasileiro. 2018. Disponível em: https://bdex.eb.mil.br/jspui/bitstream/123456789/3559/1/Tcc_Art_Ebling_Esao.pdf . Acesso em: 16 dez. 2020.

ERWIN, Sandra. Army looks for alternatives to GPS as enemies threaten to jam signals. Space News, 14 de outubro de 2019. Disponível em: <https://spacenews.com/army-looks-for-alternatives-to-gps-as-enemies-threaten-to-jam-signals/>. Acesso em: 17 dez. 2020.

HASEGAWA, J. K.; GALO, M.; MONICO, J. F. G.; IMAI, N. N. Planejamento logístico de rotas para sistema de navegação apoiado por GPS. In: COBRAC – Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário. Florianópolis – SC. 2000. CDROM. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Galera_Monico/publication/228853313_Planejamento_logistico_de_rotas_para_sistema_de_navegacao_apoiado_por_GPS/links/00b7d5195245cc7b1e000000/Planejamento-logistico-de-rotas-para-sistema-de-navegacao-apoiado-por-GPS.pdf. Acesso em: 15 dez. 2020.

IANNUCCI, Peter A. HUMPHREVS, Todd E Fused Low-Earth-Orbit GNSS. arXiv:2009.12334v1 [eess.SP] 25 Sep 2020. Disponível em: <https://arxiv.org/pdf/2009.12334.pdf>. Acesso em: 19 nov. 2020.

MONTEIRO, Luís Nuno da Cunha Sardinha. O GPS na Guerra. Revista Militar. Nº 2463 – Abril de 2007. Disponível em: <https://www.revistamilitar.pt/artigo/197>. Acesso em: 15 dez. 2020.

MOTA, Renato. Starlink pode oferecer sistema de navegação mais preciso do que o GPS. Olhar Digital, 29 de setembro de 2020b. Disponível em: <https://olhardigital.com.br/ciencia-e-espaco/noticia/starlink-pode-oferecer-sistema-de-navegacao-mais-preciso-do-que-o-gps/107855>. Acesso em: 19 nov. 2020.

NASCIMENTO, Hertz Pires do. A Abrangente Concepção de Emprego da Força Terrestre. Military Review. Maio-Junho de 2013. Disponível em: https://www.armyupress.army.mil/Portals/7/militaryreview/Archives/Portuguese/MilitaryReview_20130630_art005POR.pdf. Acesso em: 16 dez. 2020.

O Galileu, GPS do futuro. Super Interessante, 30 de junho de 2002. Atualizado em 31 de outubro de 2016. Disponível em: <https://super.abril.com.br/tecnologia/o-galileu-gps-do-futuro/>. Acesso em: 16 dez. 2020.

PORTER, Michael E. Estratégia competitiva: técnicas para análise de indústrias e da concorrência. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

POZO-RUZ, A. GARCÍA-ALEGRE, M. C. RIBEIRO, A. GARCÍA, L. GUINEA, D. SANDOVAL, F. Localización de Vehículos: Fusión de Medidas GPS y Odometría. Instituto de Automática Industrial, Consejo Superior de Investigaciones Científicas. 2000. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Domingo_Guinea/publication/237469731_LOCALIZACION_DE_VEICULOS_FUSION_DE_MEDIDAS_GPS_Y_ODOMETRIA/links/004635329b3599f8c5000000/LOCALIZACION-DE-VEICULOS-FUSION-DE-MEDIDAS-GPS-Y-ODOMETRIA.pdf. Acesso em: 16 dez. 2020.

REIS E SILVA, Hiram. CIGS – Centro Coronel Jorge Teixeira III. Página oficial do Exército Brasileiro, 07 de junho de 2011. Disponível em: http://www.eb.mil.br/web/imprensa/resenha/-/journal_content/56/18107/692443#.X9krsdhKjIU. Acesso em: 16 dez. 2020.

SANTOS, Marcio de Miranda. COELHO, Gilda Massari. SANTOS, Dalci Maria dos. FELLOWS FILHO, Lélío. Prospecção de tecnologias de futuro: métodos, técnicas e abordagens. Parcerias Estratégicas, nº 19. Dezembro de 2004. Disponível em: http://seer.cgee.org.br/index.php/parcerias_estrategicas/article/viewFile/253/247 Acesso em: 16 out. 2020.

SCHAEFFER, Cesar. EUA dizem para militares desativarem serviços de localização; entenda a preocupação. Olhar Digital, quatro de agosto de 2020a. Disponível em: <https://olhardigital.com.br/2020/08/04/noticias/eua-dizem-para-militares-desativarem-servicos-de-localizacao-entenda-a-preocupacao/>. Acesso em: 15 dez. 2020.

SHEFTICK, Gary. Army looks to leverage 'low Earth orbit' satélites. Army News Service, 09 de março de 2020. Disponível em: https://www.army.mil/article/233587/army_looks_to_leverage_low_earth_orbit_satellites. Acesso em: 16 dez. 2020.

SOBRAL, João Bosco Mangueira. Modelos de Substituição Tecnológica e suas Aplicações ao Setor de Fibras Têxteis no Brasil. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro. 1977. Disponível em: <https://www.cos.ufrj.br/uploadfile/1364322016.pdf> Acesso em: 16 dez. 2020.

SUITS, Devon L. Army showcases new electronic warfare tech. Army News Service, 23 de agosto de 2019. Disponível em: https://www.army.mil/article/226082/army_showcases_new_electronic_warfare_tech . Acesso em: 19 nov. 2020.

YASIN, Rutrell. Army explores future of navigation. C4ISRNET, 12 de outubro de 2015. Disponível em: <https://www.c4isrnet.com/intel-geoint/2015/10/12/army-explores-future-of-navigation/> . Acesso em: 16 dez. 2020.