

VULNERABILIDADES DA NAVEGAÇÃO POR SATÉLITES*

CARLOS **NORBERTO** STUMPF BENTO**
Capitão de Mar e Guerra (RM1)

SUMÁRIO

Sistemas globais de navegação por satélite
Vulnerabilidades do sinal GNSS
A resiliência necessária
 Proteção legal
 Aumento da resistência dos receptores GNSS
 Sistemas alternativos
Perspectivas para a navegação aquaviária

SISTEMAS GLOBAIS DE NAVEGAÇÃO POR SATÉLITE

Os Sistemas Globais de Navegação por Satélite (*Global Navigation Satellite Systems* – GNSS), que fornecem serviços de posição, navegação e hora (*Positioning, Navigation and Timing* – PNT), estão cada vez mais inseridos nos mais diversos aspec-

tos da vida humana, e sua aceitação cresce a cada dia, transformando-os em uma utilidade pública com cobertura global. Daqui a poucos anos, os usuários em todo o mundo deverão contar com quatro GNSS: o GPS (Sistema de Posicionamento Global, em inglês: Global Positioning System) americano, o Glonass russo, o Compass chinês e o Galileo europeu, estando apenas esse último sob controle civil.

* Artigo publicado originalmente na *Revista Villegagnon* nº 9 de 2014.

** Hidrógrafo. Instrutor de Navegação da Escola Naval. Master of Business Administration (MBA) em Gestão Internacional pela Coppe-RJ. Autor do livro *Navegação Integrada*, lançado recentemente.

Esses sistemas, devido à sua alta precisão, estabilidade, cobertura global 24 horas por dia e imunidade às condições ambientais, aliadas à sua facilidade de uso, vêm rapidamente se fazendo onipresentes com o desenvolvimento de aplicações em telecomunicações, distribuição de energia, em redes de dados, em sistemas de *backup*, em sistemas financeiros e nos transportes terrestre, aéreo e aquaviário, aplicações essas muitas vezes interdependentes e associadas a serviços relacionados à salvaguarda da vida humana, tais como o Sistema Mundial de Socorro e Segurança Marítima (GMDSS, em inglês), a sincronização de sinais náuticos, os Serviços de Tráfego de Embarcações (VTS, em inglês) etc. Apesar de suas vantagens, uma possível interrupção do sinal GNSS pode vir a causar prejuízos globais incalculáveis¹. Mas somente em 2001 começaram a serem levantadas sérias preocupações sobre tal vulnerabilidade.

Há cerca de 40 anos, os conceitos básicos desse tipo de sistema foram definidos por um pequeno grupo de oficiais americanos, sendo inicialmente concebido como um sistema de navegação e direcionamento de armas altamente sigiloso. Atualmente, caminha-se para uma disponibilidade de vários GNSS, que brevemente operarão em conjunto por meio de receptores híbridos. Além disso, os satélites GNSS encontram-

se em uma órbita elevada (distância de 20 a 25 mil quilômetros da Terra) e o seu segmento de controle em terra está tendendo a ser passado para os próprios satélites, com pouca dependência de estações em terra, as quais são projetadas para resistir até a ataques militares. Tal robustez, porém, torna-se questionável em face dos sinais dos satélites, transmitidos em alta frequência com uma potência menor do que 100 watts, chegarem à superfície da Terra com uma energia muito baixa, estando sujeitos a sinais de interferência que, caso sejam fortes o suficiente, podem sobrepor-se aos si-

nais do GNSS ou sobrecarregar o receptor, tornando-o ineficaz. Ironicamente, isso é um resultado direto do propósito original do sistema de fazer com que os sinais dos satélites Navstar (GPS) fossem extraordinariamente difíceis de serem captados e utilizados por terceiros,

empregando uma combinação de potência muito baixa do sinal transmitido e técnicas de ocultação do sinal. Ademais, tal baixa potência era desejável para garantir uma longa duração da bateria, aumentando a vida orbital dos satélites. E essa concepção permanece inalterada até hoje.

Outra preocupação é que, apesar da disponibilidade crescente de GNSS estrangeiros compatíveis ser, sem dúvida, um benefício para a navegação e outras atividades, suas transmissões individuais



Figura 1 – Satélites de um GNSS

Fonte: <http://www.esa.int>

¹ Hoje, estima-se que cerca de 7% do Produto Interno Bruto (PIB) dos países ocidentais dependa de alguma forma da navegação por satélites.

adicionadas dentro da banda GNSS têm o efeito colateral indesejável de elevar o ruído ambiente, que, aliado à crescente hiperatividade das condições ionosféricas, contribui ainda mais para a degradação dos sinais dos satélites.

VULNERABILIDADES DO SINAL GNSS

Os fabricantes de tecnologias de recepção de sinais de satélites sempre focaram os seus esforços na melhoria da sensibilidade dos receptores, deixando a sua robustez e resiliência² em segundo plano. As vulnerabilidades dos sinais dos GNSS só vieram a público em 2001, quando usuários do GPS civil foram alertados que o sistema havia se mostrado vulnerável à interferência de transmissões de baixa frequência mais potentes, quer seja por meio de bloqueio, imitação ou retransmissão maliciosa do sinal. A partir de então, vários relatos de interferência intencional ou acidental aumentaram significativamente. O uso criminoso de aparelhos tem sido feito por meio do bloqueio do sinal dos sistemas de rastreamento de veículos que utilizam GPS portáteis de baixo custo, visando ao roubo de veículos e sua carga. No Brasil, onde existem apenas projetos de lei sobre o assunto, já estão disponíveis diversos bloqueadores (*jammers*) de GPS à venda (figura 2). Nos Estados Unidos da América (EUA), embora não existam estatísticas disponíveis, estima-se que existam milhares desses dispositivos de baixo custo (menos de US\$ 150) em uso nas suas estradas, apesar de sua venda e seu uso serem ilegais.

As interferências, que também podem afetar sinais de telefonia celular, até agora não têm ameaçado seriamente a segurança

pública. No entanto, tais tipos de bloqueadores podem vir a interferir em receptores GNSS da aviação civil, como já ocorreu com um sistema de orientação de pouso por GPS que estava em processo de certificação em um aeroporto internacional nos EUA e sofreu paradas frequentes durante os testes de aceitação devido à presença de bloqueadores em veículos que trafegavam na autoestrada adjacente ao aeroporto.

No meio militar, uma preocupação das forças aéreas, terrestres e navais são os resultados obtidos em exercícios realizados nas costas leste e oeste dos EUA, onde foram utilizados bloqueadores de alta potência que causaram bloqueio do sinal GPS a uma distância de 350 milhas náuticas desde



Figura 2 – Bloqueador portátil de GPS com alcance de 20 metros (R\$ 1.950,00)

Fonte: <http://www.mercadoespiao.com.br>

² Resiliência – característica de equipamentos e arquiteturas empregados na concepção de um sistema que o tornam inerentemente confiável, seguro contra ameaças externas e capaz de resistir a determinado grau de avaria.

a superfície até uma altitude de 12 quilômetros. Esse fato pode interferir na operação de Veículos Aéreos Não Tripulados (Vant), onde, além do bloqueio, a fraqueza do sinal GNSS também vem permitindo o emprego da técnica de falsificação do sinal (*spoofing*), como o Irã alegou ter feito em 2011 contra um Vant (RQ-170 Sentinel) da Força Aérea dos EUA (figura 3), alimentando-o com coordenadas GPS falsas e fazendo-o colidir com o solo iraniano.

Atualmente, a navegação em tempo real em uma carta náutica digital e o acompanhamento automático de embarcações por meio do revolucionário Sistema de Identificação Automático (*Automatic Identification System – AIS*) são dependentes do sinal dos satélites.

Apesar de ainda não se ter notícia no setor aquaviário sobre casos de interferências que possam ter comprometido a segurança da navegação, os usuários GNSS desse segmento aparentam ter uma falsa percepção de que o sinal estará sempre disponível,

sem levar em consideração que uma possível interrupção ou interferência do sinal GNSS quando navegando em águas restritas, principalmente à noite ou em baixa visibilidade, pode ter consequências desastrosas.

A RESILIÊNCIA NECESSÁRIA

As seguintes soluções em relação aos GNSS têm sido estudadas visando atenuar as interferências indesejadas no sinal dos satélites:

Proteção Legal

Na verdade, o que existe atualmente é apenas uma necessidade de se discutir internacionalmente as sanções a serem aplicadas a quem esteja comercializando ou portando um bloqueador ilegal. Nos EUA, a pena imposta é restrita apenas à apreensão do equipamento. Já na Austrália, existe uma legislação que aplica cinco anos de reclusão, além de uma multa de 850 mil dólares, ao infrator que prejudique a condução segura de uma embarcação. No Brasil, já existem alguns projetos de lei sobre o assunto.



Figura 3 – Vant RQ-170 Sentinel
Fontes: www.aviakinetic.com e danviet.vn

Aumento da resistência dos receptores GNSS

As seguintes medidas tecnológicas podem ser desenvolvidas visando aumentar a resistência dos receptores à interferência:

– Receptor GNSS antibloqueio – Apesar de ser uma boa solução inicial, é impraticável a construção de um receptor com proteção total contra bloqueio do sinal,

além de tal concepção poder contribuir para uma escalada de potência dos bloqueadores.

– Aumento da potência do transmissor dos satélites – A próxima geração de satélites GPS III, com o seu primeiro lançamento previsto para 2015, será capaz de direcionar maior potência sobre a superfície da Terra onde tenham sido detectados bloqueadores. Porém o aumento da potência de transmissão dos satélites atualmente em órbita seria impraticável ou extremamente dispendioso.

– Tecnologia Anti-Spoofing – Tem circulado nos meios militares que o Vant

supostamente “e-abatido” no Irã estaria equipado com um GPS sem criptografia, utilizando o Serviço Padrão de Posicionamento (SPS). Como o GPS militar M-Code é praticamente imune à falsificação devido à sua criptografia forte, todas as aeronaves que forem equipadas com esse código devem estar protegidas.

Sistemas Alternativos

O rápido crescimento e a aceitação dos GNSS têm tornado inúteis ou obsoletas outras excelentes tecnologias, que pelo menos poderiam ser empregadas como fontes alternativas de PNT complementares às dos GNSS ou reservas (*backup*) em caso de perda do sinal dos satélites:

– Sistema de Referência Inercial (IRS)
 – Um IRS não depende de sinais de entrada e tem sido utilizado na aviação, com suas saídas sendo geralmente integradas com o GPS por meio do computador do sistema de gerenciamento de voo (FMS, em inglês). Em uma situação de bloqueio causando a perda do sinal GPS, o sistema de gerenciamento de voo muda automaticamente para a orientação IRS até que a recepção de dados GPS seja reestabelecida. Em um ataque de *spoofing*, no entanto, não haveria um alerta claro de falha do GPS.

As duas principais desvantagens para a solução de *backup* IRS são:

1) O custo de uma instalação IRS e sua integração com o FMS poderiam torná-lo proibitivo para a maioria dos aviões regionais e executivos de médio porte e para todas as aeronaves menores.

2) Quando o IRS é do tipo “corrida livre”, sem recebimento de atualizações contínuas de posição GPS, os erros se acumulam ao longo do tempo, tendendo a aumentar mais rapidamente durante as manobras de aproximação. Na navegação aquaviária, esse sistema é utilizado principalmente a bordo de submarinos nucleares, que permanecem por muito tempo submersos, portanto sem acesso ao sinal GNSS.

– Bússola Quântica – Cientistas britânicos afirmam que daqui a três ou cinco anos criarão um novo sistema de navegação que não se baseia em tecnologias espaciais. A denominada “bússola quântica” poderá substituir os GNSS em submarinos e navios nucleares, já que os sinais dos satélites não chegam abaixo da superfície do mar. O propósito é que, quando o submarino retorne à superfície, tenha um erro da ordem de um quilômetro em sua posição, o que hoje não é possível com o emprego do IRS.

O princípio físico do sistema é que os átomos, em suas energias mais baixas, tornam-se os corpos mais frios conhecidos no universo e extremamente sensíveis às mudanças nos campos magnético e gravitacional da Terra. Se um super-resfriador de átomos for instalado em um pequeno dispositivo, as flutuações magnéticas e gravitacionais dos átomos aprisionados podem permitir rastrear os movimentos do dispositivo a uma grande distância e determinar a sua localização com extrema precisão. A promessa dos cientistas é que futuramente se consiga uma precisão de cerca de 90 cm para receptores localizados na superfície terrestre.

– DME⁴ e VOR⁵ – A Administração Federal de Aviação dos EUA propôs essa

3 DME (*Distance Measuring Equipment*) é um equipamento de radionavegação que permite determinar a distância de uma aeronave em relação a um ponto rigorosamente localizado no terreno.

4 VOR (*Very High Frequency Omnidirectional Range*) é um equipamento eletrônico usado na navegação aeroviária. A rádio-ajuda VOR emite dois sinais: um não direcional e outro rotativo (direcional), alinhados com o norte magnético da Terra. Um receptor a bordo da aeronave mede a diferença de fase entre os dois sinais e a converte em graus magnéticos chamados radiais – estes indicam ao piloto sua localização.

combinação como a sua solução para bloqueio GPS, baseando-se no fato de que, no território continental dos EUA, o espaço aéreo tem uma rede DME e VOR bem estabelecida. A desvantagem é que receptores dos DME são comuns em novas aeronaves grandes, mas muito menos comuns em companhias de médio porte e em aeronaves corporativas, e raramente encontrados em máquinas menores. Além disso, mesmo nos EUA, pelo fato de a aviação representar menos de 10 por cento de toda a comunidade de usuários de GPS, a obtenção de financiamento para instalações adicionais dedicadas exclusivamente à aviação pode ser difícil.

– eLoran: O *enhanced* Loran (eLoran) consiste em uma versão modernizada e padronizada da versão anterior do sistema de longo alcance Loran-C, que possui várias versões ao redor do mundo. O sistema é constituído por estações em terra estrategicamente posicionadas, que empregam sinais de baixa frequência, alta potência e longo alcance (Long Range Navigation) não sujeitos a interferências, em que os receptores eLoran conseguem selecionar automaticamente as estações com melhor geometria para o posicionamento. É um sistema que fornece serviços de PNT em terra, mar e ar, desde a superfície até altitudes elevadas.

Enquanto a bússola quântica encontra-se em estágio embrionário, os militares dos EUA vêm trabalhando no desenvolvimento de unidades de IRS miniaturizadas para Vant e pequenas aeronaves. O setor aeronáutico daquele país tem utilizado o DME e VOR como alternativa ao GNSS na fase aproximação de aeroportos, o que ainda não torna a alternativa eLoran interessante para aquele setor.

Além das medidas legais adotadas, que diferem ou não existem em muitos países, as soluções apresentadas, com exceção do eLoran, evidenciam que elas só poderão ser

implementadas pelos países que operam os GNSS, a maioria sob controle militar, ou disponham de recursos para arcar com gastos que seriam proibitivos para os demais usuários GNSS do mundo, que clamam por uma alternativa precisa, abrangente, confiável e acessível.

Nesse sentido, além do eLoran, que já está praticamente pronto, uma concepção de sistema alternativo está sendo desenvolvida pela BAE Systems, em que os seus sinais de navegação serão obtidos por meio de oportunidade (Navsop), sendo projetado para aceitar sinais GNSS, além de ATC, TV, rádio, *wi-fi* e torres de telefonia celular, e obtendo uma precisão de poucos metros, podendo tal tecnologia atingir áreas onde os sinais GNSS são incapazes de penetrar, como áreas urbanas densas.

PERSPECTIVAS PARA A NAVEGAÇÃO AQUAVIÁRIA

A seguir são apresentadas as consequências que a perda do sinal GNSS poderá trazer para a navegação aquaviária nos dias de hoje.

Na navegação oceânica, o navegante terá que passar a conduzir a sua embarcação por meio da navegação estimada, da navegação astronômica, ou de um IRS.

Na navegação costeira, o radar passará a ser o principal sistema para posicionamento do navio, em que o requisito da Organização Marítima Internacional (IMO, da sigla em inglês) para um Sistema de Exibição de Cartas Eletrônicas e Informações (ECDIS, da sigla em inglês) exige que as posições radar obtidas possam ser plotadas sobre uma carta digital. A utilização de um IRS seria interessante até o navio sair da área de interferência.

Na navegação em águas restritas, geralmente no acesso a portos ou canais, onde a precisão da navegação é vital para



Figura 4 – Interferência intencional no sinal GNSS do navegante

Fonte: o autor

a segurança da navegação, a perda do sinal GNSS fará com que se perca a capacidade de se navegar em tempo real. Um IRS se tornará ineficiente em face das sucessivas mudanças de rumo que tal navegação exige. A navegação passará a ser realizada exclusivamente pelos tradicionais métodos visual e eletrônico radar. Nesse aspecto, as Marinhas de guerra têm desenvolvido seus ECDIS Navais (Cisne, na Marinha do Brasil), que permitem que as posições visuais e radar obtidas pela equipe de navegação sejam plotadas sobre uma carta digital. A maioria dos meios da Marinha Mercante, contudo, por não possuírem equipes de navegação (muitos navios já não mais possuem *pelorus*), provavelmente serão obrigadas a depender de um serviço de praticagem, na maioria das vezes já obrigatório.

No acompanhamento automático de embarcações, que visa evitar o abalroamento, a perda do sinal GNSS tornará o revolucionário Sistema de Identificação Automático (AIS, da sigla em inglês) inoperante, já que,

como vimos anteriormente, as posições das embarcações e a sincronia de dados dessa ferramenta são altamente dependentes de um GNSS. Nesse caso, em qualquer um dos tipos de navegação, o adequado acompanhamento automático poderá ser feito por meio da vigilância visual e do Radar/Arpa.

Cabe ressaltar ainda que uma perda repentina do sinal GNSS à noite obrigará o navegante, que não disponha de um radar, a realizar a navegação exclusivamente pelo método visual, o que se complica em áreas desprovidas de sinalização náutica luminosa. E a perda do sinal GNSS em condições de baixa visibilidade, além de inviabilizar a navegação visual, poderá, dependendo da intensidade com que o fenômeno meteorológico (chuva e estado do mar) se apresente, vir a afetar ou mesmo anular o desempenho do radar, inclusive no acompanhamento de embarcações. Tal fato não ocorreria com o sinal GNSS, por este ser praticamente imune às condições ambientais.

Como a navegação aquaviária moderna procura contribuir para o desenvolvimento e a aplicação do moderno conceito de e-Navigation⁵, a solução eLoran parece apresentar-se como a mais apropriada para o setor, por ser o único sistema que pode atender, em tempo hábil, às seguintes exigências de ferramenta complementar aos GNSS:

- prover PNT resiliente para utilização em aplicações críticas de infraestrutura, incluindo o transporte aquaviário;
- ser independente de um GNSS;
- poder ser facilmente integrado a um GNSS;
- possuir capacidade de detecção de interferência e de atenuação de danos;

5 e-Navigation – Conceito IMO que visa à “integração de ferramentas de navegação existentes, em particular as eletrônicas, em um sistema abrangente que contribuirá para aprimorar a segurança da navegação, com repercussões positivas para a segurança marítima de um modo geral e para a preservação do meio ambiente, além de reduzir a carga de trabalho do navegante”.

(<http://www.imo.org/OurWork/Safety/Navigation/Pages/eNavigation.aspx>)

- permitir transição suave para o sistema quando o sinal do GNSS é perdido;
- possuir potencial para ser implantado em todo o mundo;
- permitir o desenvolvimento de aplicações para a navegação marítima em geral;
- possuir modos de falhas diferentes de um GNSS; e
- proporcionar níveis de desempenho semelhantes a um GNSS.

Somando-se a essas exigências, destaca-se que o eLoran é a única ferramenta complementar disponível para prover o serviço da hora, além de operar em uma frequência que permite acessar locais onde o sinal do satélite não atinge, inclusive dentro de compartimentos metálicos (ex: contêineres), o que pode ser útil em diversas aplicações do setor aquaviário. Tais aplicações podem ser otimizadas por meio da sua integração ao AIS e utilização por embarcações, pela sinalização náutica, por VTS, etc.

Podemos destacar também a capacidade desse sistema, nos moldes de um GNSS Diferencial (DGNSS)⁶, de transmitir continuamente sinais de correção de posição ao navegante por meio de uma estação eLoran Diferencial (eDLoran). Como vantagem, o sinal eLoran, ao contrário do sinal GNSS, não sofre desvios atmosféricos e troposféricos (figura 5).

Além de se constituir em uma alternativa em caso de interferência no sinal GNSS, o eLoran serve também de alternativa em casos de possível negação regional do sinal pelos operadores de alguns GNSS, em caso de interesse político ou militar, o que pode garantir a continuidade de operações militares e

o emprego de sistemas de armas pelas forças que disponham de um serviço PNT alternativo, preciso e confiável. Outro aspecto interessante é que a consolidação de um sistema alternativo como o eLoran contribuirá para a própria longevidade dos GNSS, pois a sua simples existência tende a dissuadir ações de interferência intencional ou negação de sinal, já que as mesmas se tornariam ineficazes.

O *World Wide Radio Navigation Plan* de 2010, da Associação Internacional de Auxílios à Navegação (Iala, da sigla em inglês), reconheceu que o principal desafio é garantir que um serviço de PNT resiliente, com base no GNSS e no eLoran, esteja disponível para apoiar a aplicação do conceito de e-Navigation.

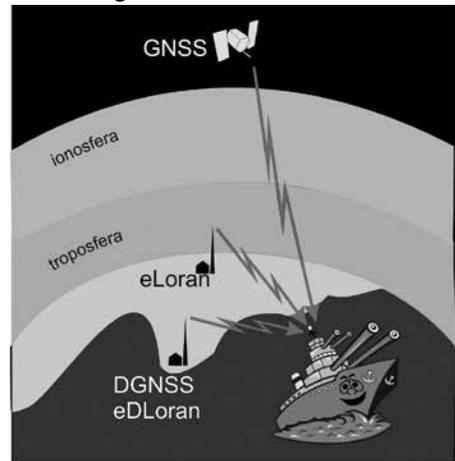


Figura 5 – Concepção de um eLoran / eDLoran

Fonte: o autor

Finalmente, cabe ressaltar que a solução integrada GNSS/eLoran atende às necessidades de uma navegação segura e eficiente em tempo de paz. Em caso de conflito armado, tal concepção possui as seguintes vulnerabilidades:

⁶ GNSS Diferencial – sistema que visa aumentar a precisão do GNSS, reduzindo os erros dos sinais dos satélites recebidos pelo navegante dentro de determinada área. O processo consiste em comparar a posição conhecida e muito precisa de uma Estação de Referência DGNSS em terra com posições obtidas por meio dos satélites GNSS disponíveis, pressupondo que o erro na determinação de um ponto é semelhante para todos os receptores situados dentro do alcance da estação (assumindo que eles estejam recebendo sinais dos mesmos satélites).

1 – O GNSS, apesar de ter seus satélites transmissores posicionados em órbitas elevadas e suas estações de controle e monitoramento em terra serem bem protegidas, é um sistema vulnerável à interferência ou negação do sinal dos satélites de sua constelação.

2 – O eLoran, mesmo sendo praticamente imune a interferências e não estando sob controle de poucos países, possui suas estações transmissoras instaladas em terra, o que torna o sistema vulnerável a ataques contra as suas instalações.

Apesar de a Navegação Oceânica estar menos sujeita à ocorrência de acidentes aquaviários, os campos de exploração petrolífera localizados no oceano possuem um intenso tráfego de embarcações que, aliado à sua importância estratégica, também exige um serviço de PNT alternativo, preciso e confiável que contribua para o tráfego seguro das aeronaves e embarcações de apoio marítimo e as operações dos meios navais e aeronavais destinados à sua proteção (figura 6)⁷.

Em face do exposto neste artigo, torna-se evidente a importância para o navegador de poder desfrutar das vantagens das fascinantes tecnologias que surgem no seu passadço, mas também é importante que se evite um



Figura 6 – Cobertura eLoran para a Amazônia Azul
Fonte: o autor

**É importante sempre
manter-se treinado na
utilização das tradicionais e
consagradas ferramentas de
navegação que independem
de sistemas externos**

excesso de confiança em torno delas, buscando sempre manter-se treinado na utilização

das tradicionais e consagradas ferramentas de navegação que independem de sistemas externos, tais como o *pelorus*, o sextante, o ecobatímetro e o radar, que, apesar de, em tempo de paz, serem complementares às modernas ferramentas de navegação

eletrônica integradas, serão vitais em caso de perda de sinais durante a eventualidade de um conflito armado.

📁 CLASSIFICAÇÃO PARA ÍNDICE REMISSIVO:

<ATIVIDADES MARINHEIRAS>; Navegação; Navegação por satélite;

⁷ O Brasil está desenvolvendo um programa à semelhança do Sistema de Proteção da Amazônia (Sipam), denominado de Sistema de Gerenciamento da Amazônia Azul (SisGAAz).

BIBLIOGRAFIA

- BASKER, Sally; WILLIAMS, Paul. Navigating eLoran: Challenges and the Way Forward. Iala Conference, 2010. Disponível em <<http://www.gla-rnav.org>>
- BENTO, Carlos Norberto Stumpf. Navegação Integrada. Niterói: Claudio Ventura Comunicação, 2013. (www.e-nav.net).
- GENERAL LIGHTHOUSE AUTHORITIES OF THE UK & IRELAND (GLA). Update on eLoran. Iala Conference, 2010. Disponível em <<http://www.gla-rnav.org>>
- INTERNATIONAL LORAN ASSOCIATION. Enhanced Loran (eLoran). Disponível em <<http://www.loran.org>>
- JAMES, Callan. What Will Follow GPS? Avionics Today, 2012. Disponível em <www.aviationtoday.com/av/military/>
- LATIN AMERICA GEOSPATIAL FORUM. Exército britânico trabalha na tecnologia de “bússola quântica” para substituir GPS. Disponível em <<http://lagf.org/news/>>
- PARKINSON, Brad. GNSS Vulnerable: What to Do? GPS World, 2014. Disponível em <<http://gpsworld.com/gnss--vulnerable-what-to-do/>>
- <<http://www.raeng.org.uk/gnss>>THE ROYAL ACADEMY OF ENGINEERING. Global navigation Space Systems: reliance and vulnerabilities. Raeng, 2011.