



AGULHAS MAGNÉTICAS VIRTUAIS E SEU EMPREGO NA NAVEGAÇÃO

1º Ten João Paulo Rodrigues Lage¹

RESUMO

O presente trabalho versa sobre uma análise comparativa entre agulhas magnéticas convencionais, com emprego largamente difundido na navegação, e agulhas virtuais disponíveis em aplicativos de dispositivos móveis inteligentes. O propósito da comparação consiste em verificar a exequibilidade do emprego de tais aplicativos, amplamente utilizados atualmente, como instrumentos de navegação a bordo de navios.

Além de uma discussão conceitual acerca dos princípios de funcionamento e características das agulhas náuticas, o texto procura exprimir os detalhes de observações realizadas a bordo do NPqHo Vital de Oliveira, de modo a permitir conclusões fundamentadas não somente em análises teóricas, mas também em resultados empíricos.

Palavras-chave:

Agulhas magnéticas virtuais, bússolas, instrumentos náuticos.

ABSTRACT

The paper text brings a comparative analysis between conventional magnetic compass, which are largely applied in navigation, and virtual compass available in softwares and apps used on smartphones and tablets. The main purpose is to discuss if the widely intalls compass applications can also be correctly used as nautical instruments at maritime vessels.

In addition to a conceptual discussion of nautical compass principals and characteristics, the work presents details of some observations that took place during a RV Vital de Oliveira's deployment, in order to achieve conclusions based not only on theory, but also on empiric results.

Keywords:

Virtual magnetic compass. Compass. Nautical instruments.

¹Hidrógrafo. Graduado em Ciências Navais pela Escola Naval. Ajudante da Divisão de Hidrografia do Navio de Pesquisa Hidroceanográfico "Vital de Oliveira". Chefe de Classe da Turma Almirante Felinto Perry.



1. INTRODUÇÃO

As agulhas magnéticas ou mais comumente, bússolas, tem emprego que remonta aos primórdios da navegação. Sua concepção é, inclusive, anterior: o advento do emprego de agulhas imantadas para determinação de direções teve provável origem na China, propagando-se por diversas civilizações e atingindo larga utilização, mesmo em nossos dias.

A despeito do avanço tecnológico dos equipamentos náuticos e do emprego preferencial das agulhas giroscópicas a bordo, as quais “perseguem” o norte verdadeiro, as agulhas magnéticas continuam sendo primordial sistema de reserva, sobretudo devido a sua robustez e independência em termos de energia elétrica.

O amplo incremento na utilização de dispositivos móveis, como smartphones e tablets, os quais contemplam, há algum tempo, funcionalidades de determinação de direções baseadas no magnetismo terrestre, sugere a possibilidade de que tais aplicativos sejam empregados de modo

mais difundido como ferramenta ao navegante, profissional ou não. É preciso, não obstante, que discussões mais aprofundadas sejam estabelecidas, no sentido de identificar vantagens e riscos, de modo que a relação custo-benefício não venha a comprometer a segurança da navegação e a salvaguarda da vida humana no mar.

2. PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO

Em termos bastante simplificados, a Terra pode ser considerada um grande ímã, cujo polo sul magnético estaria próximo do norte verdadeiro e, por conseguinte, o polo norte magnético estaria próximo do sul verdadeiro. As linhas de força de campo, seguindo os conceitos básicos de eletromagnetismo, divergem no norte magnético, convergindo para o sul magnético.

Por simplicidade, entretanto, optou-se pela convenção de que o polo norte magnético (PNM) seria aquele mais próximo do polo norte verdadeiro (PNV) e, logicamente, que o polo sul magnético (PSM) seria o mais próximo do polo sul

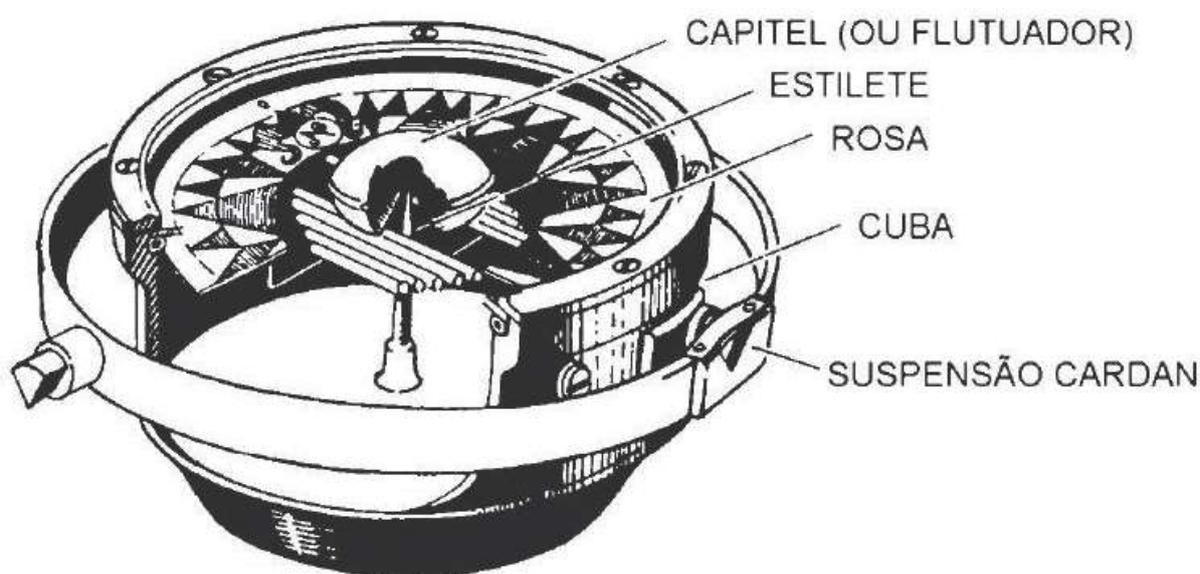


Figura 1 – Estrutura básica de uma agulha magnética de bordo

verdadeiro (PSV). Desta forma, ainda que em inconformidade com o rigor conceitual, o norte da agulha imantada aponta para o norte magnético terrestre.

É preciso salientar que o campo magnético terrestre (conjunto das linhas de força) é tridimensional, sendo decomposto em uma componente no plano horizontal (H) e outra no plano vertical (Z). Em cada ponto do planeta, é a composição vetorial de H e Z que define o vetor campo magnético, medido em Tesla (T) ou, mais comumente, seus submúltiplos.

O princípio de funcionamento das agulhas magnéticas é relativamente simples: uma agulha imantada é suspensa em seu centro de gravidade, com livre rotação em torno de um eixo (genericamente chamado de estilete, conforme ilustrado na Figura 1). Estando livre de perturbações magnéticas, tal agulha tenderá a se orientar segundo a

componente horizontal do campo local, cujo vetor é tangente à linha de campo magnético (“meridiano magnético local”). O norte da agulha, portanto, “perseguiará” o norte magnético terrestre, contanto que esteja livre de desvios. O norte magnético difere do norte verdadeiro pela declinação magnética, a qual varia com o tempo e localização no planeta. Pontos de mesma declinação magnética compõem uma mesma linha isogônica, cuja representação cartográfica é apresentada na Figura 2. Linhas isogônicas que, particularmente, apresentam coincidência dos meridianos verdadeiro e magnético são denominadas linhas agônicas.

Oportuno discorrer que, nas proximidades dos polos, a componente horizontal do campo magnético se torna insignificante, razão pela qual a operação em altas latitudes é uma das maiores limitações das agulhas magnéticas.

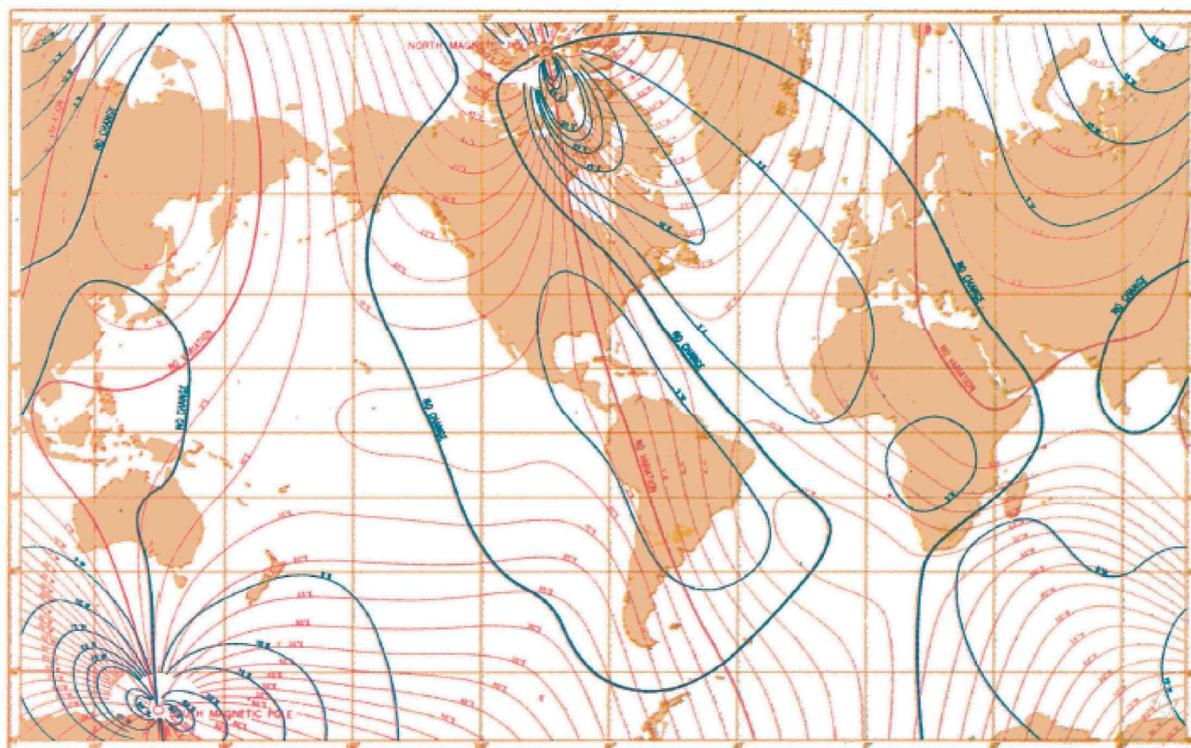


Figura 2 – Carta de declinação magnética com linhas isogônicas



As agulhas devem atender aos requisitos de sensibilidade e estabilidade. A bordo, geralmente se utilizam agulhas líquidas, as quais tendem a apresentar melhor comportamento diante dos movimentos inerentes aos navios, como balanço, caturro e arfagem. Os navios também costumam dispor de duas agulhas magnéticas, a de governo, localizada no passadiço, e a padrão, normalmente instalada no tijupá, e, portanto, considerada como de maior confiabilidade por estar menos sujeita a interferências eletromagnéticas.

Em se tratando de navios, a massa férrea da estrutura e os equipamentos elétricos e eletrônicos embarcados constituem as principais fontes de perturbações a que as agulhas estão sujeitas. Há o magnetismo permanente, associado à proa e local de construção de cada embarcação, e o magnetismo induzido, mormente influenciado pelo rumo adotado pelo navio e local de navegação.

A compensação da agulha, seguida da confecção da tabela e curva de desvios, é a técnica que procura discriminar, para cada rumo adotado, o respectivo desvio da agulha. Após a compensação, os desvios residuais são transcritos para o modelo DHN-0108, que é um Certificado de Compensação de Agulha.

3. OBSERVAÇÕES EMPÍRICAS

O estudo fundamentou-se, a princípio, em comparações empíricas entre rumos da agulha magnética (Rag) do NPqHo Vital de Oliveira e aqueles registrados no aplicativo (Rapp), isto é, a agulha virtual. Com fins de padronização, em todas as observações foi utilizado o aplicativo Compass, do sistema operacional IOS, instalado em um *Iphone XR*, aparelho tomado como referência para o trabalho.

Estando o Navio em regime de viagem, foram realizadas três análises comparativas em diferentes dias e proas magnéticas assumidas de acordo com a derrota planejada na Comissão Platô de São Paulo 2019.

A primeira comparação foi realizada em 05OUT, tendo como base a derrota entre os pontos “PLATO_24” e “PLATO_25”. As coordenadas do local de observação foram $20^{\circ} 04,406'S$ / $031^{\circ} 56,132'W$. O Navio atendia com uma velocidade aproximada de 8,0 nós. Outros dados listados a seguir:

$$Rgi = 284^{\circ} ;$$

Dgi = 0° (determinado pelo método de alinhamentos e azimute do sol); e

DecMag = $25^{\circ} 12' W \approx 25^{\circ} W$ (discriminada na carta náutica n $^{\circ}$ 30 – Costa Sueste da América do Sul).

Portanto, podemos inferir:

$$Rv = 284^{\circ} ; e$$

$$Rmg = 309^{\circ}$$

De acordo com o Certificado de Compensação da Agulha do Navio, apresentado na Figura 3, depreende-se um desvio da agulha magnética (Dag) de $1^{\circ} E$, o que implica um rumo da agulha magnética (Rag) de 308° .

As configurações do aplicativo foram acessadas, sendo desmarcada a opção “Usar Norte Verdadeiro”. Imediatamente após a desabilitação, o aplicativo passou a apresentar informação de direção magnética. Os “Serviços de Localização” mantiveram-se habilitados para o aplicativo, permitindo o registro de coordenadas e elevação do dispositivo.

Em seguida, a bússola foi calibrada. Adotou-se como procedimento de calibração a varredura dupla (720°) no círculo de azimutes magnéticos, com





Figura 3 – Certificado de compensação da agulha magnética padrão

duração aproximada de cinco minutos. É desejável que cada varredura azimutal dure, pelo menos, dois minutos. Ressalta-se que a calibração envolve três sensores fundamentais para o funcionamento do aplicativo: acelerômetro, giroscópio e magnetômetro. Todos os aplicativos integrados a smartphones que se propõem à orientação magnética utilizam um magnetômetro bastante compacto para identificar anomalias magnéticas e, a partir delas, orientar o indicador digital segundo o campo magnético terrestre local. Para que a indicação seja o mais fidedigna possível, é necessário que haja acurácia na detecção dos movimentos que o usuário realiza com o celular,

sobretudo o giro, daí a relevância da calibração do giroscópio. O acelerômetro, por sua vez, permite determinar por integração, velocidade e deslocamento, mesmo sem dispor de sinal GPS.

Após a calibração, o celular foi colocado sobre o peloro central do passadiço, mantendo-se alinhamento preciso entre a indicação de proa do aplicativo Bússola e a linha de fé do Navio. Durante o processo, o “tope” de comparação foi dado quando o nível de bolha da repetidora da giroscópica estava centralizado e quando a mira eletrônica do aplicativo (círculo central em tonalidade acinzentada) estava nivelada com o centro da tela. Nesta observação, a indicação de

rumo registrada no aplicativo foi de 305°, o que significa um desvio de 4° E.

O mesmo procedimento foi realizado no peloro de BE, visando-se compreender a influência que os equipamentos eletrônicos do interior do passadiço poderiam exercer na indicação magnética. Nesse caso, o rumo registrado foi 312°, conforme observado na Figura 4, caracterizando um desvio de 3° W em relação ao rumo magnético local.

A segunda comparação foi realizada em 06OUT, derrota entre os pontos “PLATO_16” e “PLATO_15”. As coordenadas do local de observação foram 21° 21,513’S / 033° 49,002’W. O Navio atendia com uma velocidade aproximada de 8,5 nós. Outros dados são listados a seguir:



Figura 4 – Observação com o aplicativo

$R_{gi} = 267^\circ$

$D_{gi} = 0^\circ$ (determinado pelo método de alinhamentos e azimute do sol); e

$DecMag = 25^\circ 12' W \approx 25^\circ W$ (discriminada na carta náutica n° 30 – Costa Sueste da América do Sul).

Pode-se inferir, a partir dos dados apresentados, um rumo magnético (R_{mg}) 292° e, de acordo com a curva de desvios, um desvio da agulha de $1^\circ E$, resultando em um rumo da agulha (R_{ag}) 291° .

Os mesmos procedimentos descritos na primeira observação foram adotados no que toca à calibração dos sensores do *smartphone*, ou seja, calibração por varredura azimutal dupla. O peloro central (interior do passadiço) e o de BE (asa do passadiço) foram aqueles empregados. O nivelamento do aparelho

foi dado pela mira eletrônica de nivelamento do próprio aplicativo em conjunção com o nível de bolha da repetidora dos próprios peloros.

Os resultados não se mostraram tão satisfatórios como os obtidos na primeira observação. A proa magnética indicada no interior do passadiço foi 269° , enquanto a indicação no exterior foi de um azimute magnético 282° . Tais leituras evidenciam diferenças de 23° e 10° em relação ao rumo magnético local, respectivamente, desvios considerados significativos.

A terceira observação foi realizada em 09OUT, já após o encerramento dos trabalhos de campo da comissão Platô de São Paulo. O ponto de observação foi escolhido entre os waypoints “PT_27” e “PT_CABO FRIO”, quando o Navio manteve proa em 269° , bem próxima do rumo





verdadeiro adotado por ocasião da segunda observação. O objetivo consistiu em realizar observação sob condições bastante similares àquela realizada em 06OUT, quando os resultados se mostraram insatisfatórios. Assim, seria possível ratificar uma tendência de desvios expressivos ou inferir a observação anterior como espúria. Os demais dados são apresentados a seguir:

$R_{gi} = 269^\circ$;

$D_{gi} = 0^\circ$ (determinado pelo método de alinhamentos e azimute do sol); e

$DecMag = 23^\circ 35' W \approx 23^\circ W$ (discriminada na carta náutica nº 23000 – Do Cabo de São Tomé ao Rio de Janeiro).

Podemos depreender, a partir dos dados acima, $R_{mg} = 292^\circ$ e um $Dag = 1^\circ E$ (curva de desvios). Isto implica em $Rag = 291^\circ$. Como se pode notar, os rumos magnético e da agulha magnética na terceira observação assumiram valores idênticos aos da segunda, a despeito da localização geográfica distinta.

Os procedimentos de calibração e pontos de observação (peloro central no interior do passadiço e peloro de BE, no exterior) mantiveram-se inalterados. No interior do passadiço, o azimute magnético da proa indicado pelo aplicativo foi 298° ($Rappint = 298^\circ$), enquanto que na asa de BE, foi 280° ($Rappext = 280^\circ$). Percebe-se, face ao exposto, uma significativa discrepância entre os resultados colhidos no interior e no exterior do passadiço, o que sugere interferências magnéticas possivelmente atreladas a irradiações dos equipamentos / antenas do passadiço / tijupá. Na medida no

interior do passadiço, foi constatado um desvio de $6^\circ W$ em relação ao rumo magnético; já na medida realizada na asa de BE, o desvio verificado foi de $12^\circ E$ em relação à proa magnética.

Antes da atracação do Navio, foi possível proceder, uma metodologia adicional, a fim de subsidiar o estudo em lide. Estando o "Vital de Oliveira" em posicionamento dinâmico no fundeadouro nas proximidades da DHN, foram assumidas proas magnéticas quadrantis em procedimento análogo àquele adotado por ocasião da compensação de agulhas.

O propósito precípua da tarefa foi analisar o comportamento apresentado pelo aplicativo para diferentes proas e em uma mesma área de atuação, algo que não seria possível realizar durante o cumprimento da derrota.

A declinação magnética local considerada foi de $23^\circ W$, de modo que o SPD (Sistema de Posicionamento Dinâmico) do Navio assumiu as proas verdadeiras 337° , 022° , 067° , 112° , 157° , 202° , 247° e 292° . Convém ressaltar que, para cada proa assumida, a leitura do aplicativo somente foi feita após total estabilização do *heading*. Ademais, todos os procedimentos de calibração dos sensores do *smartphone* foram seguidos antes das comparações.

A tabela a seguir corresponde a um extrato do modelo DHN-0108, Certificado de Compensação de Agulha Magnética. Ainda que não tenha sido realizada a compensação propriamente dita, tal modelo serviu como base para análise dos desvios registrados pela "agulha" do aplicativo em cada uma das proas magnéticas quadrantis.



TABELAS DE DESVIOS (Aguilha Virtual)				
Rag<Rmg	Desvio E	Rmg	Desvio W	Rag>Rmg
351	9°	000		
037	8°	045		
058	32°	090		
109	26°	135		
		180	3°	183
220	5°	225		
257	13°	270		
310	5°	315		

4. CONCLUSÃO

A doutrina de navegação a bordo de navios pressupõe que as agulhas náuticas devem atender aos requisitos de sensibilidade e estabilidade. Ainda que aparentemente antagônicos, tais requisitos são, na verdade, complementares, na medida em que possibilitam ao navegante detectar as mínimas variações de proa sem prescindir da acurácia na sua indicação.

As agulhas magnéticas, por sua simplicidade e robustez (inclusive independentemente de eletricidade), são instrumentos de largo emprego a bordo há séculos e

ainda hoje utilizadas, sobretudo como sistema de governo contingente.

Com o avanço tecnológico e advento de *smartphones* cada vez mais sofisticados, diariamente surgem aplicativos muito bem elaborados que, apropriando-se de sensores progressivamente miniaturizados, oferecem dados e informações de elevada precisão.

O escopo do presente estudo ateu-se a uma análise acerca da viabilidade de utilização, ainda que com restrições, de tais aplicativos na navegação, enfocando-se seu emprego na indicação de rumos magnéticos (comparação com as agulhas magnéticas).





O Aplicativo “Bússola” do *Iphone*, assim como os demais aplicativos afins, se utiliza da integração entre acelerômetros, giroscópios e magnetômetros de dimensões ínfimas, além de também receber informações de posicionamento GPS, com coordenadas planimétricas e altimétricas. A metodologia básica do estudo foi a comparação empírica entre os resultados fornecidos pelo aplicativo com aqueles observados pelas agulhas de bordo (agulha giroscópica com aplicação da declinação magnética / agulha magnética).

Em cada uma das três observações realizadas durante o cumprimento da derrota, uma série de medidas foi feita tanto no interior, como no exterior do passadiço, visando mensurar o nível de perturbações magnéticas em cada caso. Foram verificados desvios que variaram entre 3° e 23° em relação à proa magnética. Ressalta-se que tais medidas foram feitas em modo *offline*, ou seja, sem conexão com a internet, contando apenas com a habilitação do sistema GPS do aparelho.

De maneira a complementar o estudo, antes da atracação, o Navio estabeleceu posicionamento dinâmico para assumir diferentes proas magnéticas em um local definido, isto é, sob uma mesma declinação magnética. Nestas observações, é interessante frisar, o *smartphone* já dispunha de sinal de internet 4G. Neste caso, foram observados desvios que variaram entre 3° W e 32° E.

As observações em ambos os casos permitiram inferir um comportamento significativamente discrepante por parte do aplicativo, ainda que sob condições de anomalia magnética razoavelmente constantes: as medições foram feitas rigorosamente nos mesmos pontos do Navio, seguindo idênticos procedimentos de calibração e ainda assim registraram desvios bastante

dissonantes entre si. Por si sós, tais resultados já indicam comprometimento da técnica em termos de confiabilidade. Mesmo comparando os resultados no interior e exterior do passadiço, separadamente, ora verificaram-se maiores desvios no interior, ora no exterior, não havendo uma tendência bem delineada. A princípio, ainda que de modo prematuro, pode-se tentar explicar essas diferenças por conta de irradiações disparidades pelos equipamentos de comunicações e radares; no entanto, os equipamentos na linha foram os mesmos em todas as observações.

No caso das observações feitas em Posicionamento Dinâmico, na Baía de Guanabara, os resultados mostraram-se ainda mais díspares, contrariando o conceito de que o sinal de internet proveria maior acurácia à leitura do aplicativo.

Na hipótese de emprego das agulhas virtuais na navegação é preciso ter em mente que desvios significativos como os que foram verificados empiricamente a bordo do Vital de Oliveira podem suscitar erros acumulados de posicionamento, os quais serão tão maiores quanto mais longas forem as derrotas. Isto posto caso não haja posicionadores capazes de corrigir a navegação estimada, obviamente.

Outro ponto a ser considerado são os riscos à segurança da navegação. Desvios elevados nas agulhas empregadas podem produzir equívocos de posicionamento relativo entre embarcações ou destas em relação a perigos à navegação, aumentando vulnerabilidades diante de abalroamentos e/ou colisões. Ademais, há que se considerar que não existe jurisprudência no Tribunal Marítimo quanto ao tema em caso de eventuais incidentes, o que introduz ainda mais insegurança de natureza jurídica.



Acrescenta-se como aspecto pertinente o fato de que diferentes aplicativos, associados a sensores distintos utilizados pelos fabricantes de dispositivos móveis acarretarão, por certo, informações diferentes. Analisado um mesmo dispositivo, os resultados poderão diferir significativamente a depender de atualizações de *firmware*, as quais, como se sabe, são indisponíveis em alto-mar. Não se deve olvidar, ainda, o fato de que *smartphones* e afins são verdadeiras “caixas pretas”, assim como a maior parte dos códigos de programação dos aplicativos instalados, sendo impossível analisar a incerteza dos dados adquiridos, ou ainda proceder intervenções de manutenção especializada com o pessoal de bordo.

Entre os aspectos positivos identificados por ocasião do estudo, é possível elencar dois principais: primeiramente o fato de que a saída digital dos *smartphones* permite, na maioria dos casos, manipulação do sinal de saída via cabo ou tecnologias *wireless*, possibilitando

compartilhamento do sinal em outros dispositivos e/ou monitores; outro ponto interessante é o fato do “Bússola” apresentar uma mira de nivelamento digital, algo que contribui bastante para a qualidade das medições, sobretudo devido ao balanço das embarcações.

Face ao exposto, é possível inferir que as agulhas digitais não atendem aos requisitos de sensibilidade e estabilidade de maneira consistente, comprometendo sua confiabilidade. Evidente que, em situações de emergência nas quais se percam todas as redundâncias nos sistemas de indicação azimutal (giroscópica e magnética), seu emprego poderá ser cogitado e implementado. No entanto, em situações normais de navegação, a utilização de agulhas virtuais sem uma indicação que possibilite comparações para calibração, certamente ensejará uma deterioração dos requisitos de segurança cuja amplitude dependerá de fatores ambientais e do binômio *hardware-software* utilizado.

REFERÊNCIAS

MIGUENS, Altineu Pires. *Navegação: a Ciência e a Arte: Navegação Astronômica e Derrotas*. Niterói: DHN, 1996. 538 p. v. I

QUEVEDO, Carlos Peres; QUEVEDO-LODI, Claudia. *Ondas Eletromagnéticas*. 1 ed. Rio de Janeiro: Pearson, 2009

ACZEL, Amir. *Bússola: A Invenção que Mudou o Mundo*. 1 ed. Zahar, 2002

