

EXECUÇÃO E ANÁLISE DE MANOBRAS NÃO CONVENCIONAIS NO SIMULADOR DO TANQUE DE PROVAS NUMÉRICO DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Autor: Carlos Eduardo G. Do Nascimento¹

Orientador: Eduardo Aoun Tannuri²

1. Estudante de Engenharia Naval da Escola Politécnica da USP (POLI-USP)
2. Professor Titular do Departamento de Engenharia Mecatrônica da POLI-USP

Resumo

O simulador de navios do tanque de provas numérico da USP (Figura 1) é capaz de realizar diversos tipos de simulações. O objetivo desse trabalho foi executar e analisar manobras não convencionais de embarcações, essenciais para o projeto de qualquer navio, tais como *Pullout*, Espiral e *Very Small ZigZag*; e a complementação de uma interface que execute automaticamente tais manobras de maneira quase instantânea.

O resultado principal foi uma interface completa que permite obter o resultado de qualquer manobra para qualquer modelo de navio, algo que levaria dias para uma execução real no mar. Tais informações são essenciais para que os Práticos e Comandantes possam entrar ou sair com o navio do Porto, contribuindo assim para simulações cada vez mais reais e eficientes. O resultado desse trabalho que envolve a parceria Marinha do Brasil e USP foi muito importante, reforçando a segurança do tráfego aquaviário, a prevenção do meio ambiente marinho e a salvaguarda da vida humana no mar.



Figura 1: Simulador de manobra de navios.

Palavras-chave: navio; manobrabilidade; navegação.

Trabalho selecionado para a JNIC: Pró-Reitoria de Pesquisa da USP.

Introdução

A navegação marítima é uma das atividades mais antigas e importantes da humanidade. Pela definição do livro *Navegação: A Ciência e a Arte*¹: “Navegação é a ciência e arte de navegar com segurança de um ponto a outro da superfície da terra.”. Percebe-se que o fator segurança é primordial.

Veículos terrestres possuem uma alta capacidade de manobra, além disso, possuem suas vias devidamente estabelecidas como ruas, ferrovias, etc. Veículos aéreos, por outro lado, apesar de possuírem uma grande capacidade de manobra possuem suas vias muito menos restritas, uma vez que o espaço aéreo é vasto. Veículos marítimos grandes, porém, não possuem nenhuma dessas duas vantagens. Quanto maior o navio menor a capacidade de manobra; e diferentemente da via aérea ou a terrestre estruturada, a via marítima possui muitos fatores complicadores como: relevo do fundo, perigos à navegação e fatores ambientais. Todas essas peculiaridades tornam a navegação marítima uma atividade de alto nível técnico e de fundamental importância, pois uma colisão ou abalroamento no mar pode gerar prejuízos econômicos e ambientais catastróficos.

Fruto dessa dificuldade, especialmente em águas restritas, as características de manobras de embarcações são estudadas por profissionais da área, incluindo o aprofundamento físico envolvido, como apresentado no livro *Principles of Naval Architecture*².

As manobras são padronizadas com base em normas internacionais e suas características são necessárias para o entendimento do comportamento de cada embarcação. Dessa maneira, o Comandante ou Prático munido de um documento que mostra as curvas de manobra e características pode realizar seu trabalho com segurança.

O objetivo do trabalho foi produzir uma interface no tanque de provas (Figura 2) numérico da USP que possui como entrada qualquer navio e como saída todas essas curvas e características de manobras, geradas a partir de algoritmos criados incluindo um certo nível de piloto automático. A interface é de fundamental importância devido a inviabilidade de gerar essas curvas de modo manual, uma vez que cada manobra pode demorar horas. Já com a interface a manobra é feita em piloto automático de forma, as vezes, centenas de vezes mais rápida que em tempo real, assim chamada de *fast-time*.

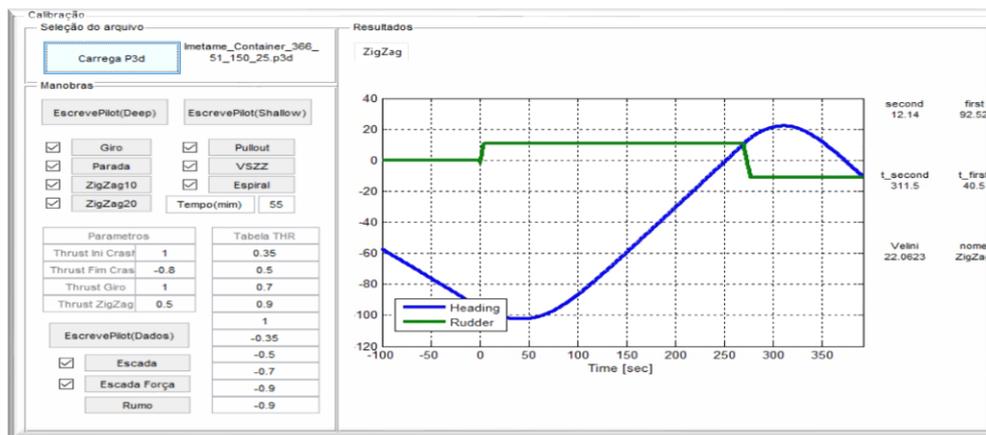


Figura 2: Interface para criação das manobras em automático em modo rápido (*fast-time*).

Metodologia

Uma vez que há somente um autor/desenvolvedor do trabalho, a organização e planejamento foi extremamente importante para o sucesso do mesmo. Com o objetivo de criar um “programa” (a interface) de criação de manobras em automático e acelerado, a estratégia foi simples nas seguintes etapas:

- 1) entender a fundo sobre a manobrabilidade de navios;
- 2) entender as manobras em questão, bem como as normas nacionais e internacionais;
- 3) executar as manobras em questão em tempo real;
- 4) transformar os procedimentos das manobras em uma linguagem de programação viável;
- 5) validar a programação pela comparação das manobras automáticas com as manuais; e
- 6) criar algoritmo de compilação dos dados e criadora de apresentação de curvas e gráficos.

Uma vez que essa deve funcionar para qualquer navio que for colocada como entrada nela, a linguagem de programação deve ser a mais genérica possível para que as peculiaridades de qualquer tipo de embarcação sejam contempladas. Basicamente dividiu-se em dois grandes problemas, navios estáveis e instáveis direcionalmente, que possuem comportamento de manobra muito distintos.

Quanto ao item (1), entendimento sobre manobrabilidade, o autor tem graduação em ciências navais pela Escola Naval da Marinha do Brasil (MB) e também foi Oficial de Manobra de navios da MB, contribuindo muito para o entendimento do assunto e tornando viável a pesquisa, uma vez que a parte operativa das

embarcações não é escopo da engenharia naval, mas sim da Marinha de Guerra ou Marinha Mercante.

No item (2) foi necessária a leitura e compreensão de diversas normas como *Explanatory Notes To The Standards For Ship Manoeuvrability*³ do Comitê de Segurança da IMO (Organização Marítima Internacional) e o relatório *Harbour Approach Channels Design Guidelines*⁴ da PIANC (*World Association for Waterborne Transport Infrastructure*). Na execução (item 3), foi muito útil a graduação anterior a engenharia naval para executar corretamente e de acordo com as normas as manobras nos navios, porém grande esforço foi necessário na implementação de todos os procedimentos como linguagem de programação (item 4).

A validação foi feita com sucesso, mostrando que a interface está funcionando perfeitamente (item 5) e assim foi finalizada com a implementação de uma funcionalidade que apresenta todos os dados de forma gráfica (item 6). Todas as etapas foram feitas no ambiente de simulação computacional do TPN e as manobras foram executadas nos simuladores de manobras que contam com equipamentos e características idênticas aos de navios reais.

Resultados e Discussão

O resultado principal foi uma interface completa que permite obter o resultado de qualquer manobra para qualquer navio, em poucos minutos, algo que levaria dias para uma execução no mar. Dessa maneira qualquer navio no simulador pode ter essas manobras perfeitamente descritas e executadas, com um simples “clique” e em poucos minutos. Muitas manobras foram geradas e foi constatado exatamente o que a literatura da engenharia naval prevê para o tipo de navio em questão.

As manobras principais (Figura 3) que a interface gera como resultado são:

- **Curva de Giro (*Turning Circle*):** é a trajetória do navio em um giro completo com regime de máquinas constante e um determinado ângulo de leme. Suas características geométricas determinam a capacidade de realizar curvas de uma embarcação, que é de total relevância nas entradas e saídas dos portos.

- **Parada em Emergência (*Crash Stop*):** é a manobra em que o navio que navega a vante com uma velocidade constante e precisa parar o navio em emergência colocando suas máquinas toda a força a ré. É fundamental principalmente em situações de risco de colisão ou abalroamento.

- **Zig-Zag:** manobra em que o navio guina para um lado e depois para o outro e assim sucessivamente. Mede a capacidade de guinada e o tempo de reação do navio, bem como sua inércia e resposta do leme.

- **Espiral Direta:** curva traçada pela série de manobras executadas registrando-se a taxa de guinada do navio para cada ângulo de leme que o navio está para uma determinada velocidade. Exprime, além da capacidade de guinada do navio, diretamente a estabilidade direcional do navio.

- **Pullout:** manobra, geralmente feita após a curva de giro, que mede o decaimento exponencial da taxa de guinada do navio, que tende a zero se o navio é estável, mas estabiliza em um valor maior que zero se o navio é direcionalmente instável.

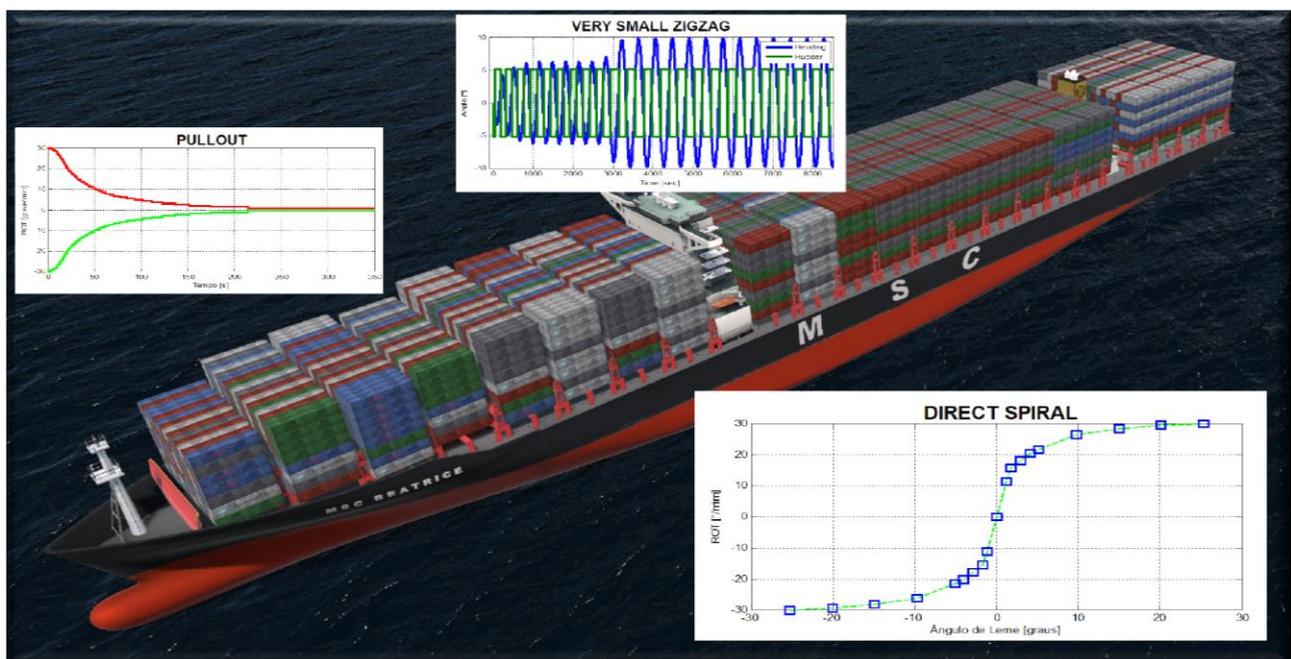


Figura 3: Exemplo de curvas de manobras principais.

Conclusões

A interface gera, também, o Pilot Card (Figura 4), isto é, um cartão com todas as informações relevantes referentes à manobras e características daquele navio, essencial para que o Prático possa entrar ou sair com o navio do porto. Dessa maneira essa pesquisa é extremamente útil não só para o TPN, mas também para os Práticos, uma vez que possibilita uma maior compreensão das características de manobra de um navio no simulador.

Do ponto de vista técnico a interface é uma ferramenta muito útil para calibração e validação dos modelos numéricos do TPN, além disso pode ser utilizado na fase da espiral de projeto os navios em que é preciso saber com precisão e confiança suas características de manobras, uma vez que há padrões e requisitos mínimos para tal.

No aspecto operativo, o Prático, profissional que entra e sai com as embarcações dos portos, precisa entender o comportamento da embarcação que assume a manobra e que muitas vezes nunca operou com ela. Dessa maneira o Pilot Card e o Poster de Manobra são fundamentais para a plena compreensão do comportamento da embarcação em águas restritas, tornando a navegação mais segura e confiável. Assim o trabalho e a interface como um todo contribuem para simulações cada vez mais reais e eficientes, que indiretamente reforçam a segurança do tráfego aquaviário, a prevenção do meio ambiente marinho e a salvaguarda da vida humana no mar.

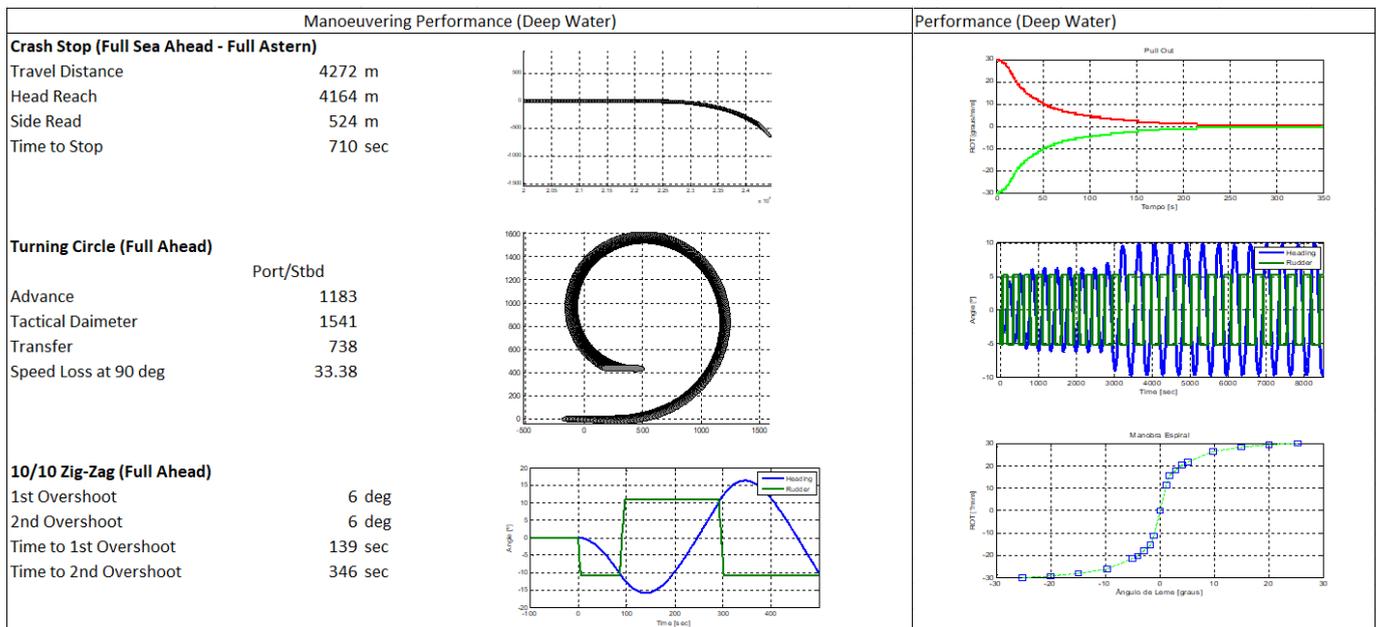


Figura 4: Manobras incluídas no Pilot Card e Poster de Manobras.

Referências bibliográficas

1. MIGUENS, Altineu Pires. Navegação: A Ciência e a Arte. Vol I: Navegação Costeira, Estimada e em Águas Restritas. Diretoria de Hidrografia e Navegação, Rio de Janeiro, 2000.
2. Edward V. Lewis. Principles of Naval Architecture. Vol III Cap 9. New Jersey, EUA (1989).
3. IMO MSC/Circ.1053 - Explanatory Notes To The Standards For Ship Manoeuvrability, December 2002.
4. PIANC REPORT N° 121/MNC. Harbour Approach Channels Design Guidelines, 2014