

MODELO NUMÉRICO PARA A ESTIMATIVA DO DESEMPENHO DE UM VELEIRO

Diogo Rodrigues Pelles, diogopelles@terra.com.br¹
Alberto Carlos Guimarães Castro Diniz, adiniz@unb.br¹
Antonio Cesar Pinho Brasil Junior, brasiljr@unb.br²

¹Universidade de Brasília (UnB), Campus Darcy Ribeiro, Departamento de Engenharia Mecânica, Bloco G, GDS - Grupo de Dinâmica de Sistemas. Brasília - DF, Brasil.

² Universidade de Brasília (UnB), Campus Darcy Ribeiro, Departamento de Engenharia Mecânica, Bloco G, GREA - Grupo de Estudos Avançados em Energia e Ambiente. Brasília - DF, Brasil.

Resumo: *O projeto, desenvolvimento e otimização de embarcações a vela de esporte e recreio é feito, atualmente, utilizando programas comerciais de previsão de velocidade (VPP - Velocity Prediction Program). Os programas são utilizados por projetistas, engenheiros, fabricantes e esportistas para estimar do desempenho de veleiros. Existem, no mercado mundial, inúmeras opções de VPPs, com diferentes níveis de precisão, dificuldades de utilização e custos elevados. Com o objetivo de criar um software de baixo custo que considere diferentes condições ambientais, como a massa específica da água doce e salgada, diferentes condições climáticas e parâmetros de projeto foi realizado o desenvolvimento de um Modelo Numérico para a Estimativa do Desempenho de um Veleiro. Para a correta modelagem de um veleiro, são necessárias medições das principais características do seu projeto, como o comprimento total, comprimento da linha d'água estática e dinâmica, posição do centro de gravidade, massa da embarcação e da sua tripulação, área vélica, área planar dos apêndices hidrodinâmicos, posição da tripulação, entre outros. No presente trabalho apresenta-se o código numérico desenvolvido em MatLab e os resultados para o projeto de dois diferentes veleiros. Tai resultados são comparados com os resultados obtidos pelo VPP produzido pela Offshore Racing Congress. A comparação dos resultados é utilizada para a validação do código desenvolvido.*

Palavras-chave: *projeto naval, métodos numéricos, dinâmica de veículos navais, sistemas dinâmicos, aerohidrodinâmica*

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de códigos numéricos capazes de estimar o desempenho de um projeto de veleiro, sob determinada velocidade e ângulo de incidência do vento vem ocorrendo desde o fim da década de 70. Este tipo de código é denominado Programa de Predição de Velocidade (ou, em inglês, *Velocity Prediction Program- VPP*). Os VPPs vem se tornando uma ferramenta imprescindível para projetistas de veleiros, fabricantes de velas e velejadores, pois, assim, podem estimar o desempenho do veleiro, sem a necessidade de construir modelos em escala, ou protótipos, o que representa uma redução significativa no custo de pesquisa e desenvolvimento de veleiros.

Marchaj (2000) afirma que a maior limitação dos modelos numéricos é a falta de precisão dos códigos comerciais. A falta de precisão dos resultados, é, normalmente, ocasionada pela falta de dados básicos, ou por uma metodologia falha na resolução das equações básicas. Para solucionar as equações de equilíbrio para as forças e momentos aero e hidrodinâmicas, é necessário abastecer o código com inúmeros dados, como:

- Geometria do casco;
- Geometria dos apêndices hidrodinâmicos;
- Geometria da mastreação e;
- Geometria do Plano vélico do veleiro;
- Coeficientes de Sustentação (C_L) e Arrasto (C_D) do casco, apêndices hidrodinâmicos, mastreação e plano vélico;
- Massa do veleiro;
- Posição do Centro de Gravidade do veleiro;
- Massa da tripulação;
- Posição do Centro de Gravidade da tripulação no veleiro;

- Velocidade do vento;
- Direção do vento.

Estimar a velocidade de um veleiro, a partir das suas dimensões e constantes físicas é uma modelagem complexa, principalmente quando o objetivo é desenvolver um algoritmo robusto o suficiente para resolver um conjunto de equações para uma “solução geral” do problema proposto.



Figura 1. Veleiro Quartertonner, projetado por Jüdel/Vrolijk (1984).

Desta forma, visando a estimativa do desempenho de uma embarcação a vela, foi desenvolvido um código numérico de uso geral, utilizando a ferramenta computacional MatLab versão 7.0, na plataforma Microsoft Windows XP, que atenda as necessidades de forma satisfatória, da indústria naval. Para efeito de validação, os resultados do presente trabalho são comparados com os resultados do código numérico desenvolvido pelo *Offshore Racing Congress*, na década de 70, e que vem evoluindo ao longo das últimas décadas, e hoje, é um dos VPPs de uso geral mais utilizados, pela sua grande precisão e relativo baixo custo de aquisição. Para validar o código, como de uso geral, foram simulados dois projetos distintos de veleiros, com o mesmo comprimento total, área vélica e deslocamento semelhantes, porém, com uma grande diferença na geometria do casco, sendo o primeiro um projeto de um veleiro da Classe Quartertonner, um veleiro com casco de deslocamento, projetado na década de oitenta, e o segundo, um veleiro da classe GP 26, projetado em 2007, e que apresenta características da geometria do casco de um veleiro planador. Os principais parâmetros de cada classe está resumido na tabela 1. A geometria geral dos cascos, apêndices e planos vélicos é apresentada nas Figuras 1 e 2.

Tabela 1. Principais características de projeto dos veleiros simulados.

| Característica | Quartertonner | GP 26 |
|--|-------------------------|----------------------|
| Escritório de Projeto | Jüdel/Vrolijk (Holanda) | Ceccarelli (Itália) |
| Ano do Projeto | 1984 | 2007 |
| Massa | 1.050 quilogramas | 1.000 quilogramas |
| Comprimento total | 7,70 metros | 7.90 metros |
| Boca | 38,74 m ² | 2,50m |
| Área vélica de Contra-vento (Vela Grande e Genoa) | 38,74 m ² | 40,32 m ² |
| Área vélica de Vento Folgado (Vela Grande e Balão) | 58,41 m ² | 99,87 m ² |
| Envergadura da Quilha | 1,110 m | 1,665 m |
| Área Planar da Quilha | 0,760 m ² | 0,673 m ² |
| Alongamento (Razão de Aspecto) da Quilha | 1,62 | 4,12 |
| Massa da Quilha | 400,00 kg | 500,00 kg |
| Envergadura do Leme | 1,260 m | 1,340 m |
| Área Planar do Leme | 0,391 m ² | 0,221 m ² |
| Alongamento (Razão de Aspecto) do Leme | 4,06 | 8,12 |
| Ig (Altura do ponto de içamento da genoa) | 8,290 m | 9,250 m |
| Isp (Altura do ponto de içamento do balão) | 8,350 m | 11,150 m |
| J (Comprimento do da Genoa) | 2,560 m | 2,900 m |
| P (Comprimento da Testa da Vela Grande) | 9,700 m | 9,900 m |
| E (Comprimento da Esteira da Vela Grande) | 3,700 m | 3,850 m |

A geometria geral dos cascos, apêndices e planos vélicos do veleiro da Classe IOR Quartertonner (Jüdel/Vrolijk, 1984) foi apresentada na Figura 1. A geometria do veleiro da Classe ORC GP 26 (Ceccarelli, 2007) são apresentadas nas Figuras 2a e 2b.

Como forma de validação, os resultados obtidos pelo presente trabalho são comparados com os resultados obtidos pelo VPP desenvolvido pelo *Massachusetts Institute of Technology (MIT)* e pelo *Offshore Racing Congress (ORC)*, para dois projetos diferentes de veleiros, com aproximadamente 7,80 metros de comprimento total.

O VPP, de uma forma geral, estima o desempenho do veleiro em regime permanente, através das equações de equilíbrio das forças e momentos aerodinâmicos e hidrodinâmicos.

O Programa de Predição de Velocidades estima o desempenho de uma embarcação através de modelos semi-empíricos. O programa busca satisfazer as equações de equilíbrio em quatro graus de liberdade da embarcação. Para tanto, são necessárias informações sobre as propriedades hidrodinâmicas, aerodinâmicas e da estabilidade do barco, obtidas através de suas principais dimensões e de sua curva de estabilidade estática (CEE).

Neste presente trabalho é apresentado o desenvolvimento de um código numérico para um programa de predição de velocidade. O algoritmo tem como objetivo estimar o desempenho de uma embarcação à vela através de modelos semi-empíricos, satisfazendo as equações de equilíbrio em quatro graus de liberdade da embarcação.

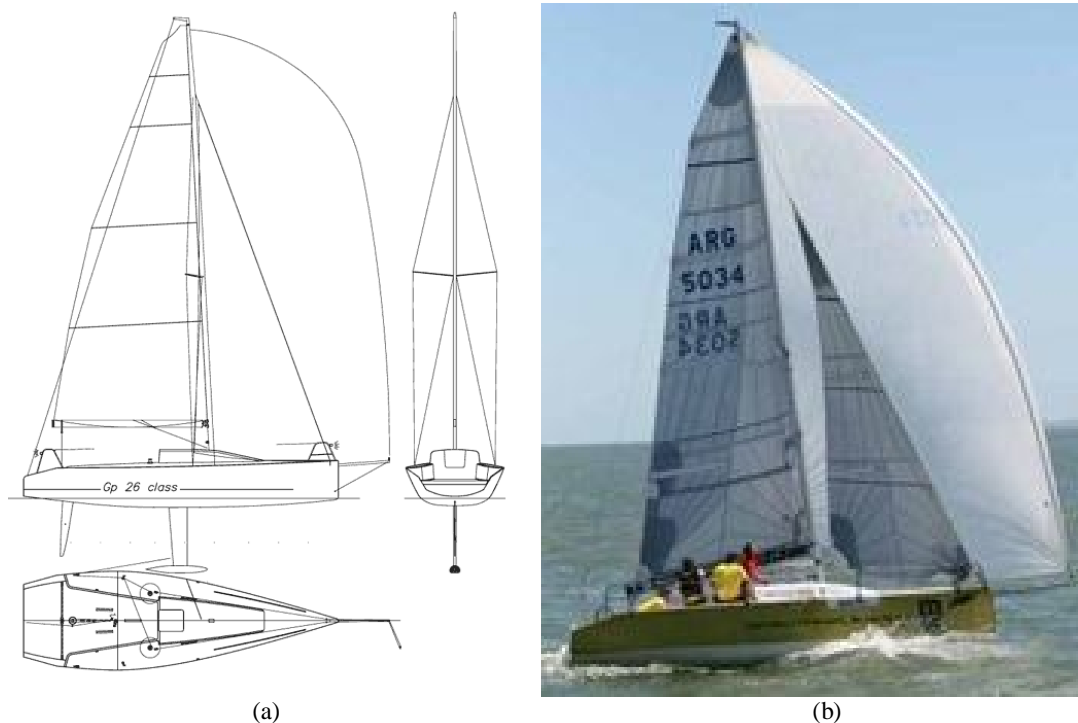


Figura 2. (a) Projeto de veleiro da Classe ORC GP 26 (ORC, 2010). (b) Veleiro GP 26, projetado por Ceccarelli (2007).

2. MODELAGEM DO PROBLEMA

O VPP desenvolvido resolve o equilíbrio estático de um veleiro em 4 graus de liberdade, baseado em modelos semi-empíricos para o cálculo das forças hidrodinâmicas e aerodinâmicas. O algoritmo é resolvido através de otimização tendo como variáveis a velocidade máxima do barco e seu ângulo de adernamento.

2.1. Forças Sobre um Veleiro

A figura 3 ilustra as várias componentes das forças aerodinâmicas e hidrodinâmicas e as suas respectivas posições relativas, assim como os momentos associados, que afetam um veleiro em regime permanente, velejando em contravento.

2.2. Modelagem Hidrodinâmica

No modelo hidrodinâmico adotado, as forças que atuam no casco e nos apêndices do barco (quilha e leme) são de dois tipos: forças e momentos de sustentação e de arrasto. A força de arrasto é o somatório das várias forças que se opõem ao deslocamento da embarcação. Em um barco em movimento em águas calmas e profundas, essa resistência pode ser decomposta em quatro parcelas: viscosa, de ondas, de adernamento e induzida. O cálculo de cada parcela da

força de arrasto pode ser encontrado em Oossannen (1993). No VPP essas formas de arrasto são somadas para se obter a força de arrasto total. A formulação da força de arrasto nos apêndices do casco provém da Teoria de Asas.

O modelo das forças de sustentação no casco e nos apêndices também se baseia em resultados da Teoria de Asas (Pelles *et al.*, 2008). O ângulo de deriva proporciona um ângulo de ataque do fluxo sobre o casco, o que nos permite enxergá-lo como uma asa curta (de baixa razão de aspecto) e, portanto, podemos associar ao mesmo uma força de sustentação. Como quilha e leme têm maior razão de aspecto, a força de sustentação gerada por eles é mais expressiva. Também é estimado o arrasto induzido sobre os elementos de asa mencionados acima, que entram como parte da resistência ao avanço.

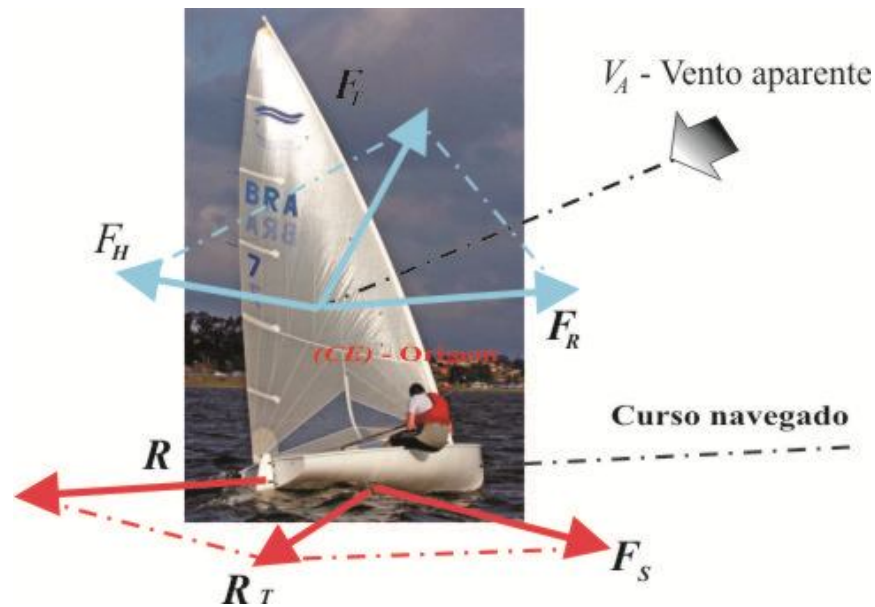


Figura 3 – Forças sobre um veleiro (Pelles *et al.*, 2008).

2.3. Modelagem Aerodinâmica

Segundo Marchaj (2003), as forças aerodinâmicas também têm seus componentes de sustentação e arrasto. O modelo aerodinâmico adotado no presente código numérico é o modelo de Hazen, adotado pela ORC (Cloughton, 1980). As forças nas velas são calculadas dependendo da combinação de velas utilizada. Há duas combinações possíveis: plano vélico de contravento (velas mestra e genoa) e plano vélico de vento folgado (vela mestra e balão).

Para achar a melhor combinação para esses fatores, o VPP varre sistematicamente seus valores e calcula o equilíbrio da embarcação, tendo como parâmetro de comparação a VMG (*velocity made-good* – projeção da velocidade do barco na direção do vento) do barco.

3. MODELAGEM MATEMÁTICA

Para produzir as condições de equilíbrio em regime permanente, o VPP deve ser capaz de solucionar numericamente as duas equações de equilíbrio, igualando a força de sustentação com o arrasto e o momento de adernamento com o momento de retorno do casco, conforme afirma Keuning (1998). A precisão dos resultados obtidos com o PPV é diretamente proporcional a precisão com que esses quatro elementos são calculados, com base nos dados coletados durante o processo de medição.

$$F_S - F_A = 0 \quad (1)$$

Esta é a equação básica para o equilíbrio de forças longitudinais, com uma força resultante ao longo da trajetória do barco sendo igual a zero. Onde F_S é a Força de sustentação e F_A é a Força de Arrasto.

3.1. Forças e Momentos Hidrodinâmicas

Gerritsma (1981) afirma que a força de arrasto é o resultado da soma de cinco componentes, apresentadas na equação 2:

$$F_A = A_{viscoso} + A_{induzido} + A_{adernamento} + A_{residual} + A_{onda} \quad (2)$$

Sendo:

$A_{viscoso}$ = Força de arrasto oriundo do escoamento da água sobre a superfície do casco e seus apêndices, e do hélice e demais itens do sistema de propulsão, caso exista;

$A_{induzido}$ = Força de arrasto resultante na quilha, leme e demais apêndices, dos efeitos de ponta de asa, oriundos do desenvolvimento da força de sustentação;

$A_{adernamento}$ = Força arrasto originária da mudança da superfície molhada e do formato imerso do casco, quando o veleiro adota um ângulo de adernamento;

$A_{residual}$ = Força arrasto desenvolvido com a criação de ondas na superfície do fluido;

A_{onda} = Força arrasto

3.2. Forças e Momentos Aerodinâmicas

A força de sustentação resultante é a força de sustentação aerodinâmica subtraído das forças de arrasto aerodinâmicas do veleiro.

$$F_S = S_{sustentação} - A_{casco} + A_{mastreação} + A_{estaiamento} + A_{tripulação} \quad (3)$$

Onde:

$S_{sustentação}$ = Força de sustentação aerodinâmica, produzida pela área vélica, mastreação e demais superfícies aerodinâmicas do veleiro.

A_{casco} = Força de arrasto aerodinâmico da superfície do casco;

$A_{mastreação}$ = Força de arrasto da superfície da mastreação imersa no ar;

$A_{estaiamento}$ = Força de arrasto aerodinâmico da superfície do estaiamento de sustentação do mastro;

$A_{tripulação}$ = Força de aerodinâmico da superfície da tripulação.

O equilíbrio longitudinal é obtido através da subtração do momento de adernamento, produzido pelas forças aerodinâmicas das velas no Centro Velico (CV) e os momentos contrários produzidos pela tripulação e pelos lastros do veleiro.

$$\text{Momento de Adernamento} - \text{Momento de Rolagem} = 0 \quad (4)$$

3.3. Equações Aero e Hidrodinâmicas Governantes

Conforme Anderson (1991), o cálculo das forças de sustentação, L , e de arrasto, D , perpendiculares a velocidade do escoamento do vento aparente. O cálculo dessas forças é realizado em função das forças obtidas através do método computacional. São as forças normal, N , também denominada força no eixo x , F_X e a força axial, A , também denominada força no eixo y , F_Y . N é uma componente da força resultante R . As forças N e A são perpendiculares à corda da vela. Os coeficientes aerodinâmicos de sustentação, C_L e de arrasto, C_D , são em função das forças aerodinâmicas L e D , da área planar vela S , e da pressão dinâmica q_∞

$$C_L = \frac{L}{q_\infty S}, \quad L = N \cos \alpha - A \sin \alpha \quad (5)$$

$$C_D = \frac{D}{q_\infty S}, \quad D = N \sin \alpha - A \cos \alpha \quad (6)$$

$$q_\infty = \frac{1}{2} \rho_\infty V_\infty^2 \quad (7)$$

Onde α é o ângulo de ataque.

4. O CÓDIGO NUMÉRICO

O código numérico desenvolvido para o VPP foi escrito em MatLab e é composto de vários módulos. Os módulos de pré-processamento são compostos pelo arquivo com a descrição geométrica do veleiro, as constantes físicas e os parâmetros da simulação, tais como velocidade do vento real, em metros por segundo, e as direções de incidência do vento real, em relação a proa do veleiro. O diagrama de blocos é apresentado na figura 4.

Os módulos com os parâmetros de entrada são utilizados pelo algoritmo desenvolvido para solucionar as equações de equilíbrio do problema, e, então, arquivos de saída são produzidos, contendo dados como ângulo de incidência do vento real, velocidade do barco, VMG (*Velocity Made Good*), ângulo de adernamento, as componentes da força de arrasto, as forças de sustentação aero e hidrodinâmica, a força resultante.

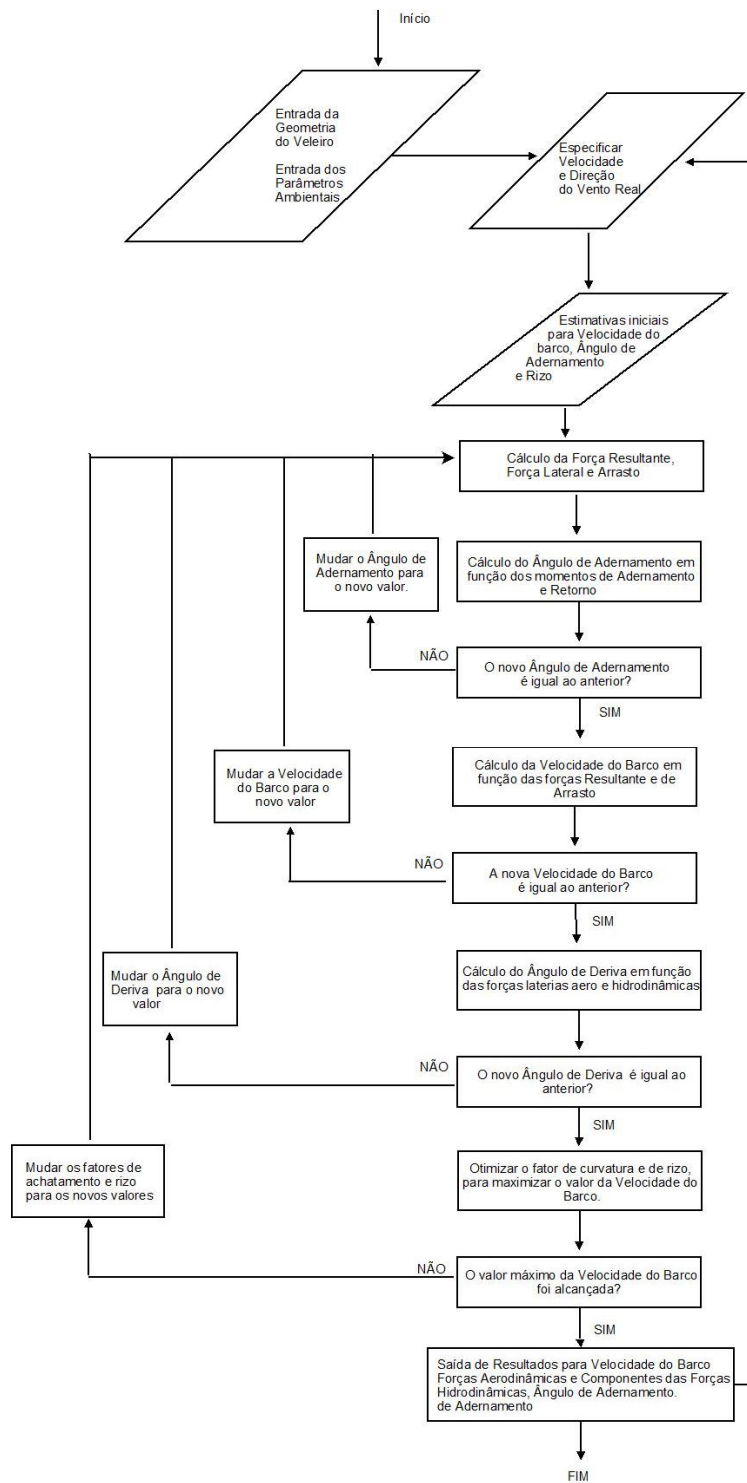


Figura 4 –Diagrama de blocos do algoritmo desenvolvido para a estimativa do desempenho de um veleiro.

5. RESULTADOS

O VPP foi validado estimando o desempenho de dois veleiros de regata com aproximadamente 26 pés de comprimento total (LOA). O primeiro, um veleiro classe *Quartertonner*, projetado por Jüdel/Vrollijk, na década de oitenta, com casco de deslocamento. O segundo veleiro é o projeto de Ceccarelli, de 2007, para a classe GP 26, que utiliza casco planador e grande área vélica.

A utilização de dois projetos com as mesmas dimensões básicas, mesmo conceito de otimização de desempenho e com diferentes perfis de casco (casco de deslocamento e casco planador) tem como objetivo testar e validar o código numérico desenvolvido em parâmetros extremos, comprovando a robustez do mesmo.

Os resultados obtidos no VPP desenvolvido no presente trabalho são apresentados para quatro velocidades do vento real, 6, 10, 14 e 20 nós, e são comparados com os resultados obtidos pelo VPP desenvolvido pela ORC, para cada um dos dois projetos.

Os resultados são apresentados em forma de gráficos, onde cada linha representa uma velocidade de vento, para cada um dos VPPs. Os resultados são apresentados à seguir:

5.1. Resultados Para Um Veleiro da Classe Quartertonner

Os resultados obtidos para o veleiro da Classe IOR Quartertonner foram satisfatórios para as quatro velocidades de vento, e nas direções do vento real selecionadas. Na figura 5 é feita a comparação entre os resultados obtidos pelo VPP desenvolvido e o código desenvolvido pela ORC.

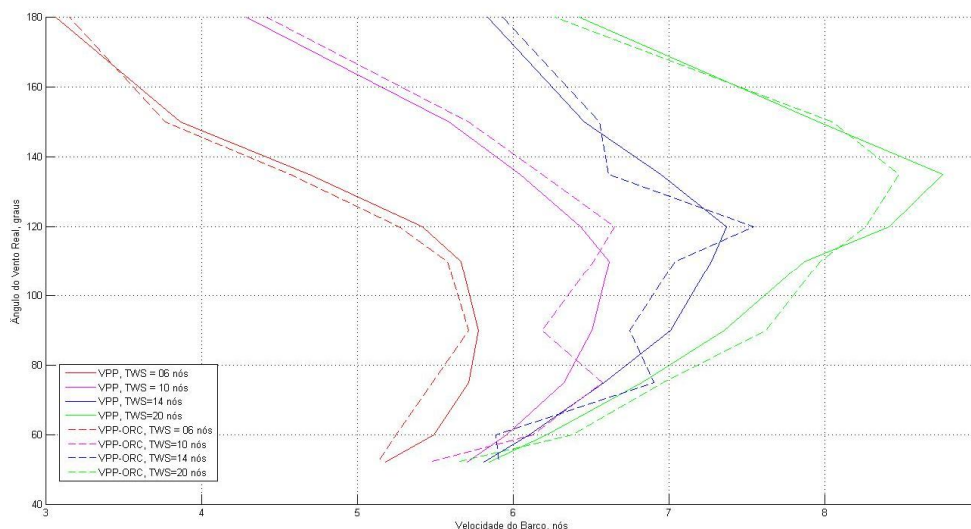


Figura 5 – Comparativo entre os resultados do VPP desenvolvido e o VPP - ORC (ORC, 1996), para o projeto do veleiro classe IOR Quartertonner.

A tabela 2 apresenta os erros entre os dois códigos. Pode-se observar que para as quatro velocidades de vento, 6, 10, 14 e 20 nós, o erro do código desenvolvido ficou menor que cinco por cento, o que é um resultado satisfatório, considerando que não foi utilizado um modelo tridimensional do casco. Segundo Marchaj (2000), erros até 5,0 % são satisfatórios devido a complexidade do problema a ser solucionado numericamente..

Tabela 2. Diferença entre os resultados obtidos pelo VPP desenvolvido e o VPP - ORC (ORC, 1996), em %), para o projeto do veleiro classe IOR Quartertonner.

| Ângulo do Vento Real | Velocidade do Vento, em nós | | | |
|----------------------|-----------------------------|-------|-------|-------|
| | 6 | 10 | 14 | 20 |
| 52° | 0,89% | 4,21% | 1,71% | 3,58% |
| 60° | 4,41% | 2,84% | 3,50% | 2,62% |
| 75° | 4,02% | 3,91% | 4,84% | 1,96% |
| 90° | 1,08% | 4,95% | 3,74% | 3,64% |
| 110° | 1,48% | 1,59% | 3,24% | 1,07% |
| 120° | 2,89% | 3,38% | 2,39% | 1,77% |
| 135° | 2,54% | 2,26% | 4,84% | 3,16% |
| 150° | 2,43% | 2,29% | 1,51% | 1,09% |
| 180° | 2,75% | 3,01% | 1,63% | 2,44% |

Para o casco de deslocamento (caso do veleiro da classe quartertonner), a maior precisão ocorre no contravento (52°) vento folgado (ângulos acima de 110°). Para ângulos entre 60° e 90° , ocorreram os maiores erros, pois, sob essas condições, o desenvolvimento de ondas ocasionadas pelo deslocamento do casco exige uma modelagem mais complexa, pois o veleiro esta adernado, o que muda a geometria do casco, e velejando com elevada velocidade, o que incita mais perturbações na superfície da água, provocando ondas de maior amplitude.

5.2. Resultados Para Um Veleiro da Classe ORC GP 26

Os resultados obtidos para o veleiro da Classe ORC GP 26 foram satisfatórios para as quatro velocidades de vento, e nas direções do vento real selecionadas, conforme o gráfico comparativo, figura 6, entre os resultados obtidos pelo VPP desenvolvido e o código desenvolvido pela ORC, utilizado para a validação.

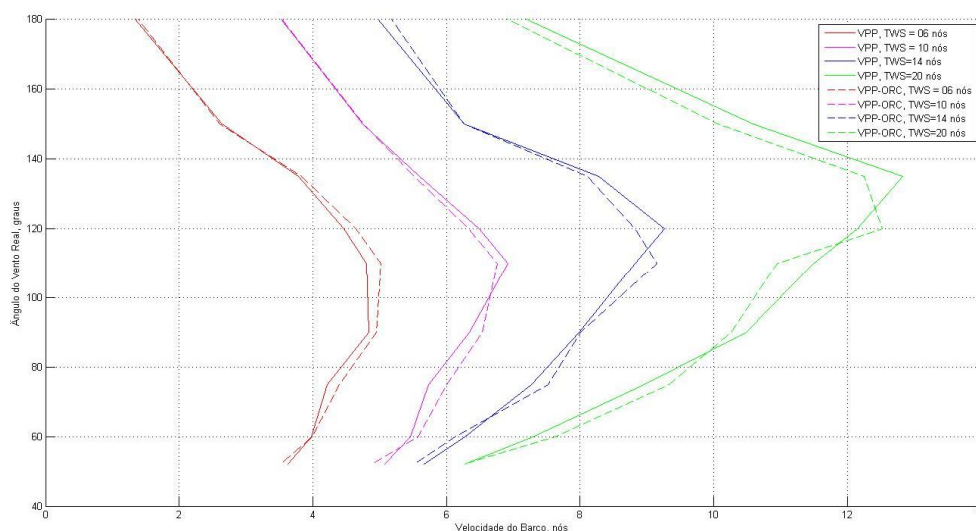


Figura 6 – Comparativo entre os resultados do VPP desenvolvido e o VPP - ORC (ORC, 2007), para o projeto do veleiro classe ORC GP 26.

A tabela 3 apresenta os erros entre os dois códigos para os resultados numéricos da estimativa do desempenho de um veleiro da classe ORC GP 26. Novamente, os erros foram satisfatórios para as quatro velocidades de vento simuladas, tendo um erro máximo inferior a cinco por cento.

O projeto do casco de um veleiro GP 26 é denominado planador, permitindo que alcance velocidades superiores a velocidade de casco de deslocamento. Para este projeto, a maior precisão ocorre em grandes velocidades, pois o veleiro não desenvolve tantas ondas quanto o casco de deslocamento, e os maiores erros, durante o contravento (52°) e vento de través (ângulo de 110°).

Tabela 3. Diferença entre os resultados obtidos pelo VPP desenvolvido e o VPP - ORC (ORC, 2007), em %, para o projeto do veleiro classe ORC GP 26.

| Ângulo do Vento Real | Velocidade do Vento, em nós | | | |
|-------------------------------|-----------------------------|-------|-------|-------|
| | 6 | 10 | 14 | 20 |
| 52° | 2,95% | 3,96% | 2,45% | 0,20% |
| 60° | 0,27% | 2,11% | 2,37% | 4,48% |
| 75° | 4,08% | 4,88% | 3,39% | 4,22% |
| 90° | 2,55% | 2,88% | 0,33% | 2,07% |
| 110° | 4,31% | 2,23% | 3,85% | 4,81% |
| 120° | 3,99% | 2,41% | 4,77% | 3,09% |
| 135° | 1,12% | 1,26% | 2,11% | 4,51% |
| 150° | 1,42% | 0,29% | 0,07% | 4,89% |
| 180° | 3,63% | 0,42% | 4,04% | 3,92% |

6. CONCLUSÕES

Foi apresentado nesse trabalho o desenvolvimento de um programa de predição de velocidades (VPP) de veleiros de baixo custo. Priorizando as necessidades do mercado de veleiros sulamericano, realizou-se a validação do código numérico em veleiros de comprimento total (LOA) de aproximadamente 26 pés, projetados para competição.

Os resultados para o veleiro da classe Quartertonner apresentaram um erro entre 0,86 % e 4,95 %. Os resultados do VPP para o veleiro da classe ORC GP26 apresentaram um erro entre 0,07 % e 4,89 %, o que também é satisfatório. Os resultados obtidos demonstram a funcionalidade e a precisão do algoritmo desenvolvido, pois obtiveram erros dentro dos padrões para códigos numéricos, e não necessita de modelos parametrizados da geometria do casco, que possui um elevado custo.

Para a utilização do código como uma ferramenta de auxílio para o projeto de veleiros de uma forma geral, faz se necessário validações com veleiros de diferentes dimensões e utilizações, como cruzeiro-regata e cruzeiro.

Porém, como ferramenta de previsão de desempenho de veleiros com até 26 pés, de alto desempenho, o código numérico se mostrou uma ferramenta capaz de atender as necessidades de projetistas e engenheiros navais, permitindo a avaliação das conseqüências de modificações nos parâmetros de projeto sobre o desempenho final da embarcação de competição. O VPP desenvolvido utiliza quatro equações de equilíbrio e fornece como resultado as estimativas de velocidade, forças aerodinâmicas e hidrodinâmicas, ângulo de deriva e adernamento, que são informações básicas para o pré-dimensionamento dos esforços que um veleiro está submetido em locais críticos, como quilha, leme, mastreação e o seu estaiamento.

7. REFERÊNCIAS

- Anderson Jr., J. D, 1991, "Fundamentals of aerodynamics", McGraw-Hill International Editions, Inc. New York, New York, USA. 563p.
- Ceccarelli, 2007. "Projeto construtivo do veleiro Classe ORC GP 26", Argentina. 5 p.
- Cloughton, A., "Developments in the IMS VPP Formulations", 14th Chesapeake Sailing Yacht Symposium, Annapolis, MD, 1999.
- Gerritsma, J., Onnink, R., Versluis, A., "Geometry, Resistance and Stability of the Delft Systematic Yacht Hull Series", Int. Shipbuilding Progress 28(328), pp.276-97, 1981.
- Jüdel & Vrolijk, 1984. "Projeto construtivo do veleiro Classe IOR Quartertonner", Holanda. 3 p.
- Keuning, J.A., Sonnenberg, U.B. "Approximation of the hydrodynamic forces on a sailing yacht based on the DSHYS", International HISWA symposium on yacht design and yacht construction 1998
- Larsson, L. & Eliasson, R.E. "Principles of Yacht Design", International Marine, 1994;
- Marchaj, C. A, 2000, "Aero-hydrodynamics of sailing", Terceira edição, Adlar Coles Nautical, London, UK. 763p.
- Marchaj, C. A, 2003, "Sail performance – Techniques to maximize sail power", Terceira edição, International Marine / McGraw-Hill International, Inc. Camden, MN, USA.401p.
- Oossanen, P. van, "Predicting the Speed of Sailing Yachts", SNAME – Transactions , Vol 101, pp 337 – 397, Amsterdam, 1993.
- ORC - Offshore Racing Congress. 1996. "VPP Results - Jüdel/Vrolijk IOR Quartertonner 1984". 2 p. Rio de Janeiro, Brasil.
- ORC - Offshore Racing Congress. 2007. "VPP Results - Ceccarelli ORC GP 26 2007". 2 p. Buenos Aires, Argentina.
- Pelles, D.R., Noleto, L.G., dos Santos, C.C.B., Brasil Júnior, A. C.P., 2008. "Modelagem Numérica para a Análise do Escoamento Aerodinâmico ao redor de Velas", VIII CONEMI - VIII Congresso Nacional de Engenharia Mecânica e Industrial. Brasília, DF. 12p.
- Pelles, D.R., Noleto, L.G., dos Santos, C.C.B., Brasil Júnior, A. C.P., 2008. "Simulação Numérica do Escoamento Turbulento em Embarcações Náuticas de Competição Olímpica", V CONEM - Congresso Nacional de Engenharia Mecânica. Salvador, BA. 12p.

8. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

NUMERICAL MODEL PREDICTION OF YACHT PERFORMANCE

Diogo Rodrigues Pelles, diogopelles@terra.com.br¹
Alberto Carlos Guimarães Castro Diniz, adiniz@unb.br¹
Antonio Cesar Pinho Brasil Junior, brasiljr@unb.br²

¹Universidade de Brasília (UnB), Campus Darcy Ribeiro, Departamento de Engenharia Mecânica, Bloco G, GDS - Grupo de Dinâmica de Sistemas. Brasília - DF, Brasil.

² Universidade de Brasília (UnB), Campus Darcy Ribeiro, Departamento de Engenharia Mecânica, Bloco G, GREA - Grupo de Estudos Avançados em Energia e Ambiente. Brasília - DF, Brasil.

Resumo: *The design, development and optimization of sailing sport and cruiser boats are done, today, using commercial codes for prediction speed (VPP - Velocity Prediction Program). The programs are used by designers, engineers, manufacturers and sportsmen to estimate the performance of sailboats. There, on the world market, many options VPP with different levels of accuracy, difficulty of use and high costs with the goal of creating a low-cost software and code known that considers different environmental conditions, such as specific mass of fresh water and salt water, different weather conditions and parameters of the project was development of a numerical model to estimate the performance of a sail. For the correct modeling of a sailboat, measurements are needed of the main features of your project, as the total length, length of the line of water static and dynamic, position of center of gravity, the mass of the vessel and crew, sail area, area planar appendages of hydrodynamic, position of the crew, among others. This work shows the code umeric developed in MatLab and the results for the design of two different boats are compared with the results of the VPP produced by the Offshore Racing Council. The comparison of the results and used for validating the code.*

Palavras-chave: *marine design, numerical methods, marine vehicles dynamics, dynamics systems, aero-hydrodynamics*